

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL
LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de
la Producción**

Diseño de una Compuerta Hidráulica para el Control de Flujo
en Piscinas Camaroneras

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Julio César Andrade Mera

Andrea Beatriz Pacheco Coque

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, mi novia y amigos que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de todo el camino para convertirme en el profesional que soy hoy.

Julio César Andrade Mera

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico principalmente a Dios, por bendecirme a lo largo de este camino.

A mis padres Willam y Maris, mi hermano César, quienes han sido mi apoyo, mi ejemplo y motivación en todo momento, por confiar en mí y darme la oportunidad de convertirme en profesional.

A Jancarlo, quien con paciencia y amor, ha sido mi guía y mentor en cada paso que he dado.

A mis amigos que también hicieron parte de este proceso y comparten conmigo este logro académico, de manera especial a Lissette y Ketsy.

Andrea Beatriz Pacheco Coque

AGRADECIMIENTOS

Henry Thoreau dijo "Lo que obtienes al alcanzar tus metas no es tan importante como en lo que te conviertes"; en este sentido, agradezco a todas las personas que me apoyaron en el camino a convertirme en ingeniero; aquellos que estuvieron a pesar de que las circunstancias se tornaran difíciles y aquellos que jamás dejaron de creer en mí.

Julio César Andrade Mera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar esta meta, a mis padres por su amor y sacrificio, que me impulsaron a seguir adelante.

A la ESPOL por los conocimientos y experiencias que aportaron para mi vida profesional y personal.

Al M.Sc. Federico Camacho, por la oportunidad de su tutoría y por su constante supervisión para llevar a cabo este proyecto.

A Jancarlo, por convertirse en mi maestro durante toda mi carrera universitaria, por su tiempo invertido para compartir sus conocimientos conmigo y por confiar en mí.

Andrea Beatriz Pacheco Coque

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Julio César Andrade Mera y Andrea Beatriz Pacheco Coque damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Julio César Andrade Mera



Andrea Beatriz Pacheco Coque

EVALUADORES

.....
PhD. Francis Loayza P.

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
M.Sc. Federico Camacho B.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea el diseño de una compuerta hidráulica de accionamiento eléctrico para el control de flujo en piscinas camaroneras, a fin de alcanzar este objetivo se analizaron las cargas principales a las que la compuerta estaría expuesta y las características que permitan alcanzar un diseño que cumpla con los requerimientos mecánicos y de operación. En primer lugar, se evaluó y seleccionó la mejor alternativa de diseño para el caso específico de la aplicación, en segundo lugar, se realizó el diseño de forma de las compuertas en base a las restricciones geométricas y elementos mecánicos necesarios, en tercer lugar, se realizaron los cálculos teóricos correspondientes a la carga hidrostática y cargas sísmicas en base a la normativa NBR-8883. Posteriormente se dimensionaron en base a los cálculos los elementos mecánicos que componen la compuerta para así realizar simulaciones de los principales elementos mediante un programa de Análisis de Elementos Finitos (ANSYS) para la verificación final de los esfuerzos y resistencia de los elementos. Finalmente se logró un diseño de compuertas tipo vertedero que cumple con las necesidades del mercado, así mismo, respetando las normativas de diseño vigentes y optimizando la cantidad y distribución de los elementos, brindando facilidad de uso y mantenimiento, además de reducir el costo de manufactura.

Palabras Clave: Compuerta, Carga Hidrostática, Control de Flujo, Accionamiento Eléctrico.

ABSTRACT

The following work presents the design of an electric hydraulic gate for flow control of shrimp lakes. To meet mechanical and operation requirements main gate loads and design characteristics were analyzed. First, the best design alternative was evaluated and selected for the specific application case. Second, the gate was designed considering its geometric constraints and desired mechanical elements. Third, theoretical calculations were done regarding hydrostatic and seismic loads following NBR-8883 norms. There were also analyzed friction loads because for the gate size, and its trigger mechanism, that load is significant. Then, mechanical elements of the gate were dimensioned and simulated using Finite Element Analysis in ANSYS for verify strain and resistance of the elements. In the end, a landfill type gate was designed to reach marked needs as well as following current design norms and optimize elements quantity and distribution to offer usability and easy maintenance and reduce manufacturing costs.

Keywords: Gate, Load Hydrostatic, Flow Control, Electric drive

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS	XII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del Problema.....	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Descripción de una compuerta Hidráulica	4
1.4.2 Tipos de compuertas.....	4
1.4.3 Sellos para compuertas.....	7
1.4.4 Estática de Fluidos.....	9
CAPÍTULO 2	12
2. Metodología	12
2.1 Proceso de diseño.....	12
2.2 Requerimientos de diseño	12

2.3	Selección de alternativas de solución	13
2.3.1	Selección de compuerta	13
2.3.1	Selección del mecanismo de transmisión.....	17
2.4	Normativas de referencia.....	20
2.5	Diseño conceptual	20
2.6	Diseño detallado.....	22
2.6.1	Cargas sobre la compuerta	22
2.6.2	Dimensiones de las planchas de la compuerta	25
2.6.3	Número de refuerzos horizontales en las compuertas.....	26
2.6.4	Refuerzos horizontales	27
2.6.5	Refuerzos verticales.....	27
2.6.6	Cálculo de tensión en compuerta inferior	28
2.6.7	Selección del cable, tambor y polea	28
2.6.8	Soporte para poleas de compuerta inferior	30
2.6.9	Potencia para el accionamiento de las compuertas.....	31
2.7	Análisis del sistema de control.....	31
CAPÍTULO 3		33
3. Resultados		33
3.1	Resultados teóricos	33
3.1.1	Resultados del análisis de las cargas estáticas y dinámicas	33
3.1.2	Geometría de la compuerta.....	34
3.1.3	Resultados de refuerzos en las compuertas	35
3.1.4	Resultados de soporte de poleas para compuerta inferior.....	38
3.2	Consideraciones de apertura de la compuerta	38
3.3	Selección de cable, polea y tambor	40
3.4	Análisis de elementos finitos.....	42

3.4.1	Desplazamientos en compuerta superior	43
3.4.2	Distribución de esfuerzos sobre la compuerta	44
3.5	Análisis de elementos finitos de elementos críticos	47
3.6	Análisis de resultados general	49
3.7	Análisis de costos	52
CAPÍTULO 4	55
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
4.1	Conclusiones	55
4.2	Recomendaciones	55

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
NBR	Norma Brasileña
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISC	American Institute of Steel Construction
DIN	Instituto Alemán de Normalización
EM	Engineer Manual

SIMBOLOGÍA

F_s	Fuerza de fricción
N	Factor de seguridad
$\mu_{neopreno}$	Coefficiente de fricción dinámico del neopreno
γ_{H_2O}	Peso específico del agua
g	Gravedad
ρ	Densidad
σ	Esfuerzo
M	Momento flector
I	Inercia geométrica
F_H	Fuerza hidrostática
γ_w	Peso unitario del agua
S_{sy}	Resistencia corregida
P_e	Presión efectiva
t	Espesor
T	Tensión
C_e	Carga efectiva
n	Número de vueltas
d	Diámetro
P	Potencia
ω	Velocidad angular
MPa	Mega pascales
mm	Milímetros
m	Metros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Reporte de exportaciones totales de camarón del Ecuador	1
Figura 1.2 Compuerta plana deslizante	5
Figura 1.3 Compuerta radial	5
Figura 1.4 Compuerta tipo sector	6
Figura 1.5 Compuerta tipo aleta	7
Figura 1.6 Compuerta vertedero	7
Figura 1.7 Sellos para compuertas	8
Figura 1.8 Vista lateral del sello tipo nota musical	8
Figura 1.9 Fuerza hidrostática sobre una superficie plana vertical	10
Figura 2.1 Metodología de diseño de la compuerta hidráulica.	12
Figura 2.2 Representación de la ubicación de la compuerta en la piscina camaronera.....	13
Figura 2.3 Diseño compuerta vertical	13
Figura 2.4 Diseño compuerta vertedero	14
Figura 2.5 Diseño compuerta radial.....	15
Figura 2.6 Diseño de mecanismo tipo Ratchet	18
Figura 2.7 Diseño de mecanismo biela corredera.....	18
Figura 2.8 Mecanismo de cables y poleas.....	19
Figura 2.9 Diseño conceptual de la compuerta hidráulica.....	21
Figura 2.10 Diagrama de cuerpo libre de la compuerta superior	22
Figura 2.11 Diagrama del punto de aplicación de la fuerza hidrostática en la compuerta superior.	22
Figura 2.12 Diagrama de cuerpo libre del eje de botella.....	25
Figura 2.13 Diagrama de cuerpo libre del refuerzo horizontal inferior.....	27
Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre del refuerzo vertical de la compuerta inferior.....	28

Figura 2.15. Diagrama de cuerpo libre de soporte para poleas de compuerta inferior.....	30
Figura 2.16 Diagrama de cuerpo libre de la polea	31
Figura 3.1 Diagrama de fuerza cortante, momento flector y esfuerzos de refuerzo horizontal de compuerta inferior	36
Figura 3.2 Diagrama de fuerza cortante, momento flector y esfuerzos de refuerzo vertical de compuerta inferior	37
Figura 3.3. Diagrama de fuerza cortante, momento flector y esfuerzos de soporte para poleas.....	38
Figura 3.4 Curva de torque vs ángulo de apertura de la compuerta superior	39
Figura 3.5 Desplazamientos en compuerta superior sin refuerzos (vista frontal). ...	45
Figura 3.6 Desplazamientos en compuerta inferior sin refuerzos. (vista frontal).	45
Figura 3.7 Desplazamientos en la compuerta superior con refuerzos. (vista frontal).....	46
Figura 3.8 Desplazamientos en la compuerta inferior con refuerzos (vista frontal). 46	
Figura 3.9 Resultados de Desplazamientos para el elemento caballete de polea...47	
Figura 3.10 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento soporte para poleas.....	48
Figura 3.11 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento soporte superior de la estructura	48
Figura 3.12 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento eje de botella.....	49
Figura 3.13 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento tambor para cables.....	49
Figura A. 1 Acciones a realizar en función de los parámetros medidos	60
Figura C. 1 Coeficientes para esfuerzos admisibles	63
Figura C. 2 Coeficientes k para esfuerzos en elementos tipo plancha.....	63

Figura C. 3 Coeficientes para cables, poleas y tambores según el grupo de elevación.....	64
Figura D. 1 Cables de acero inoxidable AISI 304	65
Figura D. 2 Poleas con soporte RBZ	65
Figura D. 3 Modelo y especificaciones del motor seleccionado	66
Figura E. 1 Resultados de las simulaciones en compuerta superior sin refuerzos..	67
Figura E. 4 Resultados de las simulaciones en compuerta inferior con refuerzos...	67
Figura E. 2 Resultados de las simulaciones en compuerta inferior sin refuerzos....	67
Figura E. 3 Resultados de las simulaciones en compuerta superior con refuerzos.	67
Figura E. 7 Resultados de las simulaciones en caballete de polea.....	68
Figura E. 6 Resultados de las simulaciones en eje de botella	68
Figura E. 5 Resultados de las simulaciones en soporte superior	68
Figura E. 8 Resultados de las simulaciones en tambor	68
Figura F. 1 Vista 3D del mecanismo de transmisión con engranajes.....	69
Figura F. 2 Vista 3D a detalle del mecanismo de transmisión de engranajes.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Requerimientos técnicos.....	13
Tabla 2.2 Criterios de ponderación.....	17
Tabla 2.3 Matriz de decisión de los tipos de compuertas.....	17
Tabla 2.4 Matriz de decisión de los tipos de mecanismos de transmisión.	20
Tabla 3.1 Resultados de la presión hidrostática ejercida sobre las compuertas.	34
Tabla 3.2 Coeficientes K seleccionados y espesores de la placa correspondientes.	35
Tabla 3.3 Dimensiones y elementos que conforman la compuerta.	37
Tabla 3.4 Dimensiones de cable, polea y tambor	41
Tabla 3.5 Resultados de la simulación para las compuertas superior e inferior.	44
Tabla 3.6 Resultados de la simulación para los elementos críticos del sistema.....	47
Tabla 3.7 Costos de materiales	52
Tabla 3.8 Costos de manufactura	53
Tabla A. 1 Cuadro de comparación entre las compuertas según los aspectos que cumplen	61
Tabla A. 2 Resultados del torque, reacciones y tensión de la compuerta superior en base a la variación de su ángulo de apertura.	61
Tabla A. 3 Flujo de caja.....	62
Tabla A. 4 Tabla de amortización	62

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Plano general de compuertas
- PLANO 2 Dimensiones generales de compuertas
- PLANO 3 Compuerta superior
- PLANO 4 Soporte superior
- PLANO 5 Eje de botella
- PLANO 6 Tambor compuerta superior
- PLANO 7 Tambor compuerta inferior

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria camaronera es una de las actividades que genera grandes fuentes de ingreso y desarrollo para el Ecuador, ocupando el cuarto lugar como productor de camarón y el principal proveedor para países como Estados Unidos, España y Francia (Tacon). La Cámara Nacional de Acuicultura indica que el valor de las exportaciones netas de camarón representaba ya para el 2021 un aporte superior a los 5 mil millones de dólares, como se observa en la Figura 1.1, no obstante, las proyecciones muestran que el sector continúa en crecimiento, por lo que se espera que este valor ascienda cada año (Cámara Nacional de Acuicultura, 2022)



Figura 1.1 Reporte de exportaciones totales de camarón del Ecuador (Cámara Nacional de Acuicultura, 2022)

En el territorio ecuatoriano existen dos tipos de camarón, el de agua dulce y el de agua salada, para los cuales va dirigido el proyecto, ambos crecen y se cosechan en las piscinas camaroneras de la región, que además por el sector en el que se ubican presentan una mayor ventaja sobre sus competidores, debido a que los factores climáticos benefician a la producción continua, ya que en un año se pueden alcanzar hasta cuatro ciclos de cosecha, con una supervivencia del 65% por hectárea de cultivo (Gonzabay, 2021).

Se debe tener en cuenta que los factores con mayor influencia en el crecimiento del sector camaronero son principalmente el precio de los combustibles fósiles, debido a la

gran dependencia del sector de recursos energéticos de esta naturaleza y por otro lado del nivel de tecnificación de todos los procesos productivos (Romero Heredia & Andrade Moreira, 2018). Si bien es cierto que el desarrollo de prácticas ecológicas de ahorro y de eficiencia energética son indispensables para la sustentabilidad del sector, es en el segundo punto donde se está haciendo grandes inversiones en investigación y desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas que permitan aumentar la productividad y rentabilidad de las camaroneras.

A medida que la industria evoluciona para alcanzar una mayor productividad, éstas empiezan a adoptar modelos de cultivo extensivos e intensivos, es decir, piscinas con densidades de camarón mayores a 25 y 50 camarones por metro cuadrado, es en este punto donde se vuelve estrictamente necesario el desarrollo de sistemas de control que permitan automatizar todos los procesos involucrados en la siembra y cosecha de camarón, pues la supervivencia y salud de los camarones se vuelve más crítica y sensible a medida que las densidades de camarón aumentan. Actualmente, se están desarrollando de forma intensiva soluciones innovadoras a los procesos de alimentación y aireación de las piscinas (Echeverría Valero & Bayot Arroyo, 2022), teniendo en el mercado gran variedad de empresas dedicadas a la venta de estas soluciones. Sin embargo, aún existen problemáticas que no se han abarcado a profundidad y que son fundamentales para alcanzar el máximo rendimiento de la industria camaronera, siendo una de ellas, el control de flujo de agua en las piscinas.

1.1 Descripción del Problema

Actualmente, el control del flujo de agua en las piscinas camaroneras pequeñas, medianas y grandes se lleva a cabo a través de compuertas de tablonés. Para operaciones de apertura y cierre de la compuerta requiere que el personal de pesca deba introducirse en la piscina, poniendo en riesgo su seguridad, este suceso es de conocimiento general, aunque no existen informes acerca de los accidentes relacionados con la manipulación de tablonés. Además de que la baja efectividad de regulación de flujo se ve reflejada en el escape de agua que existe en los bordes de dichos tablonés, considerando que al llevarse a cabo este proceso manualmente no existe un control completo del nivel de agua de las piscinas y de la recirculación del

fluido, lo que resulta en un mayor consumo de recursos para mantener el control de los parámetros de las piscinas de camarón.

1.2 Justificación del problema

El presente proyecto se realiza a fin de responder a las necesidades emergentes de las camaroneras en Ecuador. En la actualidad existe una pérdida significativa de rendimiento económico en las camaroneras debido a una tasa de mortalidad elevada, que se asocia a un manejo incorrecto de los niveles de agua y de recirculación, que es necesario para controlar parámetros como: la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, el amonio total, entre otros (Skretting a Nutreco Company). En el Apéndice A se encuentra mayor detalle de cómo controlan estos parámetros actualmente las camaroneras.

Se han tomado acciones realizando grandes esfuerzos por impulsar la industria camaronera hacia la tecnificación, de manera que se alcance autonomía casi completa de los procesos productivos, desde la alimentación hasta el control del nivel de las piscinas.

La generación de soluciones tecnológicas ayuda a mejorar el desempeño del proceso de producción en el sector camaronero, dando beneficios notorios en la rentabilidad y escalabilidad, aumentando los márgenes de ganancia y la competitividad de la industria nacional en relación con el mercado internacional, y que paralelamente se disminuye el trabajo manual y riesgos asociados para los operadores que mediante tableros y manualmente manejan las compuertas, permitiendo enfocar este talento a procesos más productivos.

En concordancia con lo anterior, el proyecto se enfoca en realizar el diseño de un sistema de compuertas hidráulicas que permitan el control de flujo de forma automática.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una compuerta hidráulica de accionamiento eléctrico mediante el uso de programas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Análisis de Elementos Finitos (FEM) para el control de flujo en piscinas camaroneras.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar información necesaria para la elaboración del proyecto (condiciones de operación químicas y físicas presentes en el agua de las piscinas y necesidades especiales de la industria).
- Diseñar y simular una compuerta hidráulica que cumpla con las necesidades del sector camaronero.
- Diseñar el mecanismo de accionamiento de la compuerta, incluyendo los criterios de seguridad.
- Analizar los esfuerzos en las zonas críticas de la compuerta a través de un programa de Análisis de Elementos Finitos.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Descripción de una compuerta Hidráulica

Una compuerta hidráulica es una estructura generalmente de metal controlada de manera manual o automática, ubicada en los canales de agua con la finalidad de regular el flujo de líquido a pasar. Existen diferentes tipos de compuertas que están clasificadas de acuerdo a su forma, función y movimiento (Estudiantes de la Universidad de la Costa, 2018). Los aspectos más destacables para el diseño de una compuerta son: el tamaño y la forma del orificio por cubrir, la carga hidráulica, el espacio disponible, el mecanismo de apertura y las condiciones de operación.

1.4.2 Tipos de compuertas

- **Compuertas planas deslizantes:** Realizar su deslizamiento a través de unos rieles guías fijos, además de que contienen sellos de goma para evitar la fuga de agua en las zonas laterales e inferior

(ver). El peso G de la compuerta está relacionado con su extensión $B(m)$ y con la carga $P(kN)$.

$$G = k(PB)^n \quad (1.1)$$

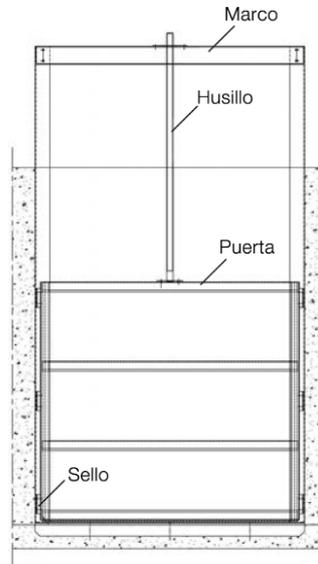


Figura 1.2 Compuerta plana deslizante (SEPTAR, 2020)

- **Compuertas Radiales:** De acuerdo a la Figura 1.3 la estructura de la compuerta radial está apoyada sobre vigas inclinadas que se conectan en un punto pivotante. En la ecuación (1.1) los parámetros llevan los siguientes valores, $0.11 < k < 0.15$ y $n \approx 0.07$, $PB > 150 \text{ kN m}$. El rango usual de cabezal para compuertas radiales es $2 < H(m) < 20$, y un rango de extensión $3 < B(m) < 55$ (Narayanan, 2007).

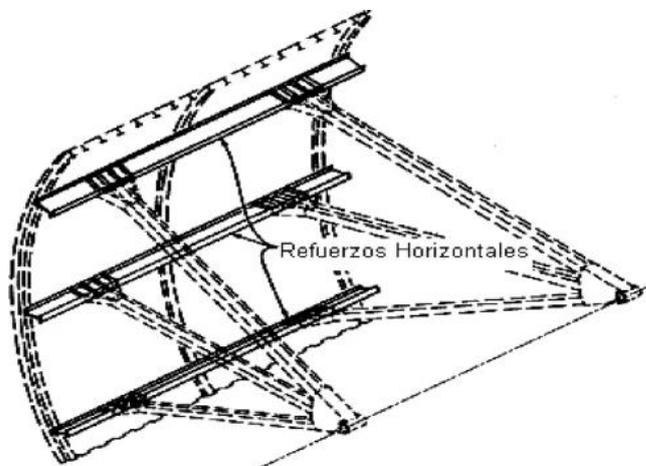


Figura 1.3 Compuerta radial (Jaramillo, 2006).

- **Compuertas de tambor y sector:** Las compuertas tipo tambor y sector (ver Figura 1.4) son similares tanto en su forma como en su funcionamiento, la diferencia radica en la ubicación de su articulación, ya que si la articulación está ubicada aguas arriba se trata de una compuerta tipo tambor, pero si la articulación está ubicada aguas abajo, se refiere a una compuerta tipo sector. (Narayanan, 2007).
- **Compuertas tipo aleta:** Este tipo de compuerta consiste en una placa metálica, articulada en su parte inferior, permitiendo un empuje hidrostático. Según la característica de descarga que se requiera la forma de la placa de la compuerta puede ser circular o rectangular, tal como se puede observar en la Figura 1.5 (Narayanan, 2007).
- **Compuerta Vertedero:** Se trata de una compuerta que controla el caudal mediante el cambio de posición de la misma (ver Figura 1.6), como es utilizada para canales con fines agrícolas en donde no existe una presión de empuje del fluido tal como en una presa por lo que puede ser activada con energía solar o eléctrica.

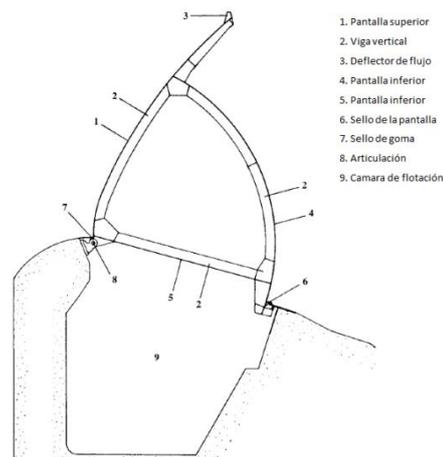


Figura 1.4 Compuerta tipo sector (Narayanan, 2007).

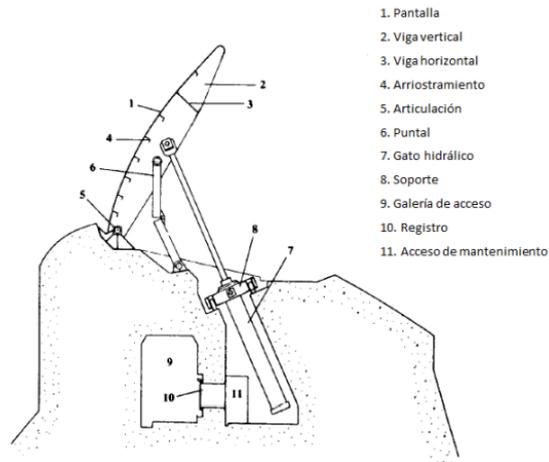


Figura 1.5 Compuerta tipo aleta (Narayanan, 2007).



Figura 1.6 Compuerta vertedero (Narayanan, 2007).

1.4.3 Sellos para compuertas

El diseño de los sellos debe cumplir con su función de evitar la fuga de fluido, por lo que se debe generar un sellado total entre la compuerta y el marco estructural. Las características principales de los sellos deben ser flexibilidad y hermetismo, por esta razón uno de los materiales más usados para sellos de esta aplicación son los de neopreno. La forma que adoptan tanto los sellos laterales como el sello inferior son de tipo nota musical, como se puede observar en la Figura 1.7.



Figura 1.7 Sellos para compuertas (Hule México, 2022).

Para realizar el cálculo de la fuerza de fricción en cada sello se tiene la siguiente ecuación:

$$F_s = 2\mu N \quad (1.2)$$

$$N_s = \frac{Pl}{J} (J^2 + a^2 + aB) \quad (1.3)$$

Donde:

$\mu_{neopreno}$: Coeficiente de fricción dinámico del neopreno.

P : Presión hidrostática en el sello.

l : Longitud total del sello.

De acuerdo con la Figura 1.8

$$a = C - B \quad (1.4)$$

$$J = \frac{(A - \frac{C}{2})}{2} \quad (1.5)$$

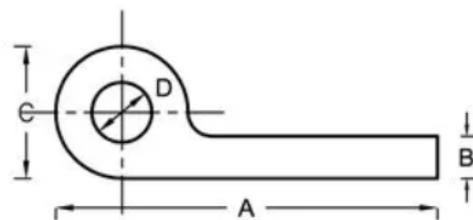


Figura 1.8 Vista lateral del sello tipo nota musical (IndiaMart, 2008)

1.4.4 Estática de Fluidos

- **Presión hidrostática sobre superficies sumergidas:** La presión hidrostática que genera un fluido incompresible sobre una superficie dada aumenta de manera lineal a medida que la profundidad de inmersión se incrementa, dicha profundidad de inmersión siempre se mide en la dirección vertical y hacia abajo. La presión que produce un fluido para una determinada presión de inmersión es proporcional a la gravedad, la densidad del fluido evaluado y la altura de inmersión.

$$h = \gamma h = g\rho h \quad (1.6)$$

- **Fuerzas hidrostáticas sobre superficies sumergidas:** La fuerza hidrostática que un fluido incompresible aplica sobre una superficie viene dado por los siguientes factores: profundidad de inmersión, geometría de la compuerta y propiedades físicas del fluido en cuestión, para el caso de aplicación de este trabajo, siempre se tendrá que la superficie libre del depósito está abierto al ambiente, por lo que no existe una carga de presión debido a presurización del recipiente, por otro lado, se tomara como marco de referencia general el caso de una compuerta plana, de manera que no se involucran geometrías de compuertas complejas para el análisis, la decisión se toma en razón a que el caso de compuerta plana da un alcance suficiente para el cálculo del diseño de compuerta propuesto debido a que un fluido en reposo no es capaz de ejercer esfuerzos cortantes sobre una superficie, la fuerza siempre resulta normal a cualquier punto de la superficie que se evalúa, esto es fundamental para realizar el cálculo de la fuerza (Quispe Arce & Rojas Rojas, 2018).

La ecuación (1.7) muestra la forma general de la ecuación para el cálculo de la fuerza hidrostática aplicada por un fluido sobre una superficie. La fuerza total que ejerce el fluido sobre la superficie es igual al producto de la presión ejercida por el área de aplicación, debido a que la distribución de la presión no es uniforme, dicho calculo se debe realizar mediante una integral donde se toma en cuenta la geometría de

la superficie sobre la que se está aplicando la fuerza y la altura a la que esta sumergida y la distribución de presión (Quispe Arce & Rojas Rojas, 2018).

$$F = \int P dA \quad (1.7)$$

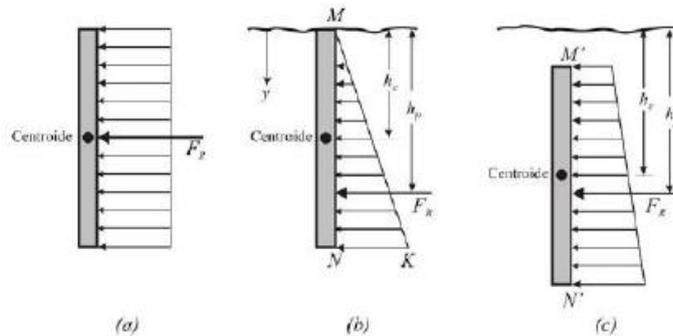


Figura 1.9 Fuerza hidrostática sobre una superficie plana vertical (Quispe Arce & Rojas Rojas, 2018).

Para que el cálculo de la fuerza total sobre la compuerta sea efectivo y nos permita realizar un diagrama de cuerpo libre es indispensable conocer el punto de aplicación de la fuerza. Este punto de aplicación corresponde al centroide de la distribución de presión sobre la superficie. En la Figura 1.9 se muestra como este punto es distinto al centro de masas de la compuerta, por lo que el mismo debe ser calculado como se muestra en la ecuación (1.8).

$$y = \frac{\int y dA}{A} \quad (1.8)$$

- **Falla de materiales dúctiles bajo carga estática**

El esfuerzo de manera general se define como la fuerza por unidad de área que se aplica a un material en un punto, todo material sobre el que se aplique una fuerza sea externa o interna experimentara un esfuerzo. Los esfuerzos pueden ser normales o paralelos a la superficie dependiendo de la manera en la que se aplica la fuerza. El esfuerzo de deflexión máximo que se produce en una viga ocurre en las fibras

externas y se puede calcular como se muestra en la ecuación (1.9). Donde se tiene que M representa el momento de flexión de la viga, I representa corresponde al momento de inercia de la sección transversal de la viga y c representa la distancia a la fibra más externa desde el plano neutro de la viga (Rodriguez Penagos & Hernando Rojas, 2012).

$$\sigma_x = -\frac{Mc}{I} \quad (1.9)$$

- **Teoría de Von Mises:** Esta teoría nos permite conocer el esfuerzo efectivo de Von Mises, dicho esfuerzo se define a menudo como el equivalente de tensión uniaxial capaz de generar la misma energía de distorsión que aquella producida por la aplicación de los esfuerzos reales aplicados a la fuerza, la ventaja principal de este método de análisis es que nos permite analizar un conjunto de esfuerzos multiaxiales como el resultado de un solo esfuerzo uniaxial de carga de tensión. Este esfuerzo se calcula generalmente como se muestra en la Ecuación 1.10 para el caso de un estudio de dos dimensiones.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (1.10)$$

- **Factor de seguridad:** El factor de seguridad se debe tener en cuenta en el diseño de cualquier elemento estructural de máquinas, es un valor numérico que nos indica que tanta es la carga admisible que puede soportar la estructura antes de producirse una falla y que tan alejado estamos de que se produzca ese fallo con la carga actual, es especialmente útil cuando no es posible abarcar todas las interacciones producen esfuerzos sobre una estructura o se desconoce el estado de carga de la misma en un futuro, por ellos es siempre recomendable que este factor de carga para una estructura estática sea mayor que uno. La manera en que se calcula el factor de seguridad en base al esfuerzo máximo de la estructura.

$$N = \frac{\sigma_{permisible}}{\sigma_{esfuerzo}} \quad (1.11)$$

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se detalló la metodología a seguir para llevar a cabo el diseño de la compuerta hidráulica para piscinas camaroneras, incluyendo el estudio de las alternativas de solución, el diseño conceptual y el diseño detallado de acuerdo con la norma NBR 8883.

2.1 Proceso de diseño

El proceso de diseño a seguir para este proyecto se encuentra en la Figura 2.1 en donde se observan todos los tópicos principales para lograr un correcto desarrollo.

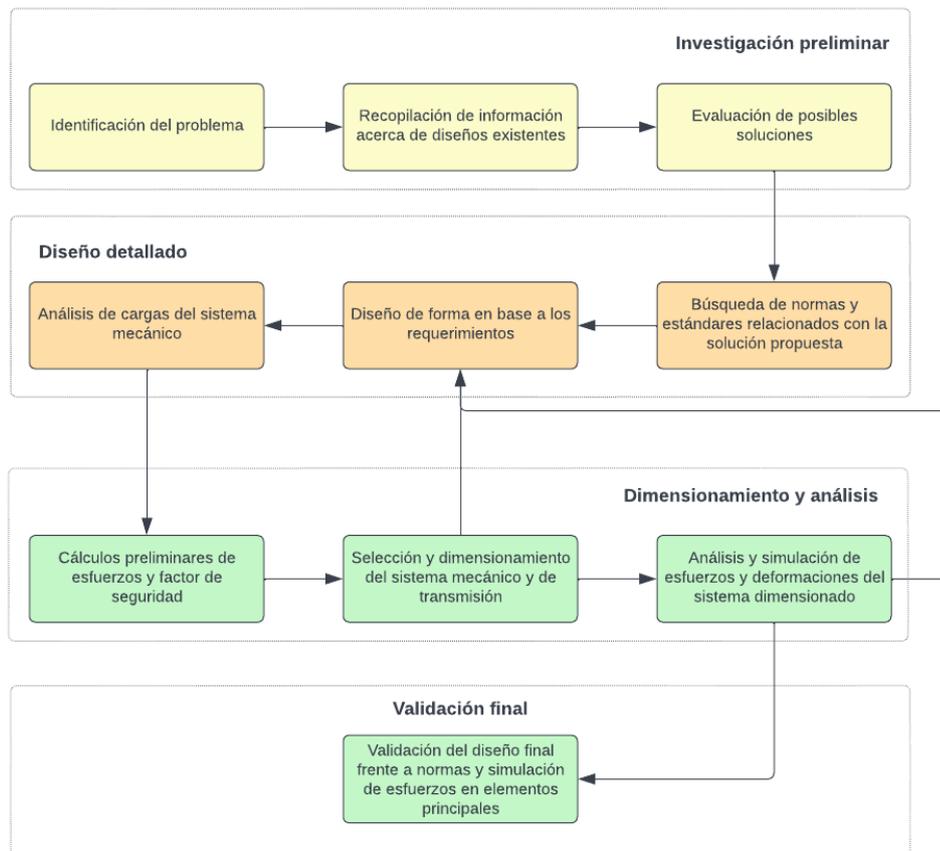


Figura 2.1 Metodología de diseño de la compuerta hidráulica.

2.2 Requerimientos de diseño

La compuerta hidráulica debe tener las características necesarias para asegurar su funcionalidad bajo los requerimientos de la Tabla 2.1. En la

Figura 2.2 se puede observar una recreación del medio en el que estará ubicada la compuerta.

Tabla 2.1 Requerimientos técnicos.

MEDIO EN EL QUE SE ENCUENTRA	LARGO (m)	ANCHO (m)
Marino (agua salada)	1.5	1.2

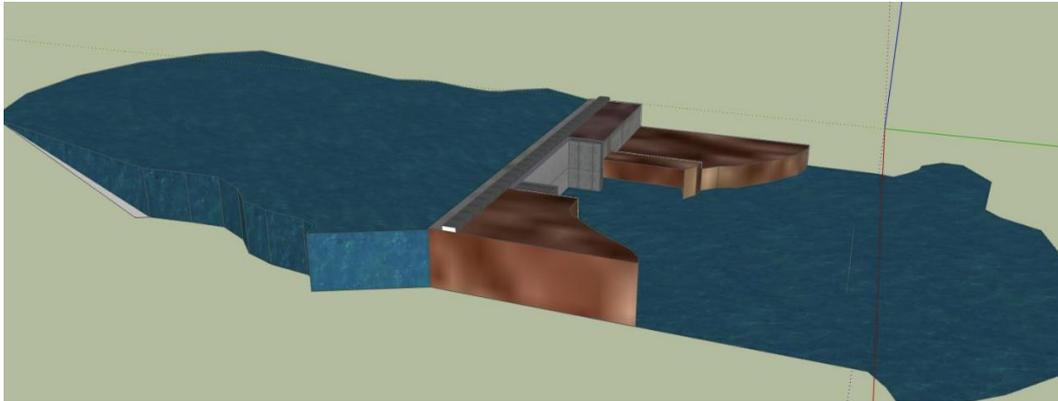


Figura 2.2 Representación de la ubicación de la compuerta en la piscina camaronera

2.3 Selección de alternativas de solución

2.3.1 Selección de compuerta

Para seleccionar la alternativa que cumpla con los requerimientos del proyecto y que además presente una ventaja considerable frente a los demás diseños se evaluaron los siguientes tipos de compuertas.

- Compuerta vertical:

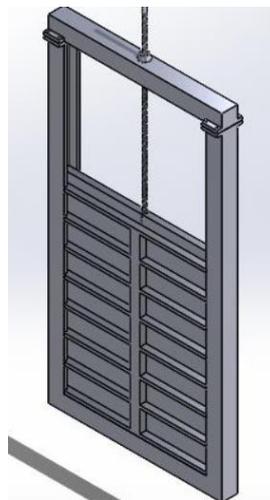


Figura 2.3 Diseño compuerta vertical

Principales ventajas:

- Mecanismo sencillo
- Liviano
- Fácil mantenimiento

Principales desventajas:

- Apertura inferior de compuerta
- Requiere una altura de columna grande
- Nivel no es proporcional al ángulo de apertura.

- Compuerta vertedero

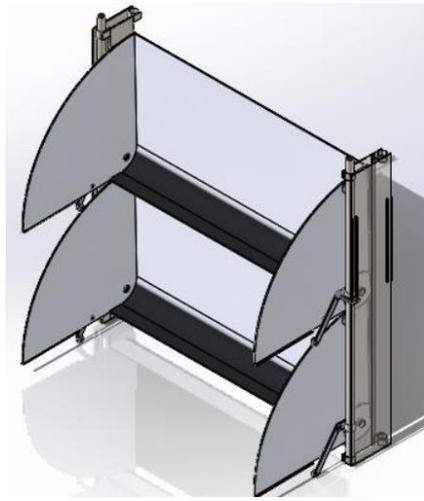


Figura 2.4 Diseño compuerta vertedero

Principales ventajas:

- Excelente control de nivel
- Sistema compacto en volumen
- Fácil mantenimiento

Principales desventajas:

- Requiere mayor potencia del motor
- Potencia requerida no es constante
- Requiere dos motores para su operación

- Compuerta radial

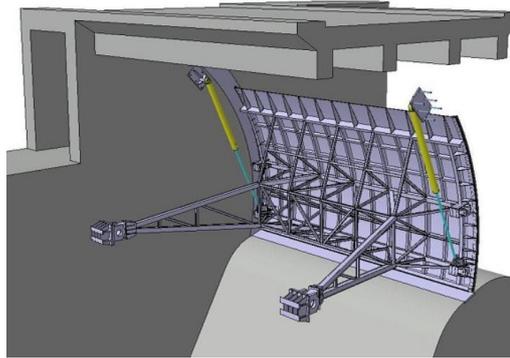


Figura 2.5 Diseño compuerta radial (Arkiplus, 2020)

Principales ventajas:

- Excelente control de flujo
- Excelente distribución de presiones
- Fácil mantenimiento

Principales desventajas:

- Requiere mayor torque
- Requiere un volumen frontal amplio
- Generalmente requieren sistemas hidráulicos para su control

Por otro lado, es importante también analizar los aspectos relacionados con las soluciones planteadas como son:

- Salud pública: el manejo automático de las compuertas permitirá que el camarón no tenga daños que altere su calidad, mejorando el producto para el consumo humano.
- Seguridad y Bienestar: Se garantiza un manejo seguro de las compuertas, lo que permitirá que el personal de pesca no ponga en riesgo su integridad física a la hora de realizar el control de tablonés.
- Globales: Se requiere generar un control eficiente de las compuertas, de manera que se reduzcan costos de bombeo, reducción de la tasa de mortalidad del camarón y la posibilidad de integración de sistemas de control automatizados.

- Culturales: La aplicación de este tipo de compuertas hidráulicas en piscinas camaroneras impulsaría un cambio tecnológico en los métodos que utilizan actualmente las empresas camaroneras.
- Sociales: La implementación de compuertas hidráulicas promovería el desarrollo tecnológico del sector camaronero del país.
- Ambientales: Se espera un manejo del agua más eficiente, permitiendo reducir el agua que requieren las camaroneras para las tareas de recirculación.
- Económicos: Se estima que un mejor control del flujo de las piscinas podría representar un ahorro en el gasto global de piscina por ciclo, mejorando la rentabilidad de la inversión.

La descripción de los distintos aspectos a considerar para el proyecto se puede visualizar en la Tabla B. 1 donde se evalúa qué tipo de compuerta cumple con cada uno de ellos.

A continuación, se establecieron los criterios para seleccionar la compuerta más adecuada:

- Dimensiones: Las medidas externas de la compuerta.
- Mantenimiento: Rapidez y facilidad para realizar el mantenimiento de la compuerta.
- Asegurar la calidad del camarón: Capacidad de mantener el camarón en buen estado cuando se realice la apertura o cierre de la compuerta.
- Costos de fabricación: Costos de fabricación totales de la compuerta.
- Materiales: Capacidad del material para asegurar su funcionamiento bajo las condiciones climáticas a las que se expone el diseño.

En base a los criterios expuestos, se realizó un análisis y evaluación de cada tipo de compuerta en una matriz de decisión, donde la alternativa seleccionada resultó la compuerta vertedero, observar la Figura 2.4. Entre las características que destacan, están la facilidad de mantenimiento y el aseguramiento del buen estado de camarón ya

que, al realizar la apertura por la parte superior, al fluir el agua junto con el camarón, evita que éste golpee contra la compuerta. El detalle de la matriz de decisión se encuentra en la Tabla 2.3 y la calificación asignada se encuentra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Criterios de ponderación

Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
1-3	Malo
4-6	Regular
7-8	Muy Bueno
9-10	Excelente

Tabla 2.3 Matriz de decisión de los tipos de compuertas

MATRIZ DE DECISIÓN						
TIPOS DE COMPUERTA						
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	
Descripción	Dimensiones	Mantenimiento	Asegurar la calidad del camarón	Costos de fabricación	Materiales	Total
Ponderación	15%	30%	30%	10%	15%	100%
Compuerta Vertical	10	5	5	10	7	6.55
Compuerta Vertedero	8	10	10	7	10	9.4
Compuerta Radial	5	2	5	8	7	4.7

2.3.1 Selección del mecanismo de transmisión

El diseño requiere de un mecanismo de transmisión para realizar el movimiento requerido del sistema, por lo que fueron evaluadas las siguientes alternativas:

- Mecanismo de Ratchet

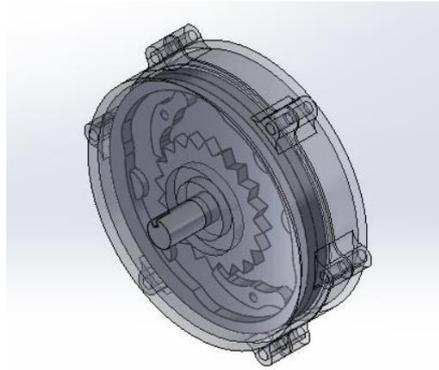


Figura 2.6 Diseño de mecanismo tipo Ratchet

Principales ventajas:

- Permite controlar dos compuertas con un solo motor
- Auto bloqueante cuando no se transmite torque
- Sistema relativamente compacto

Principales desventajas:

- Difícil fabricación
- Mantenimiento complejo
- Riesgo de contaminación

- Mecanismo de Biela corredera

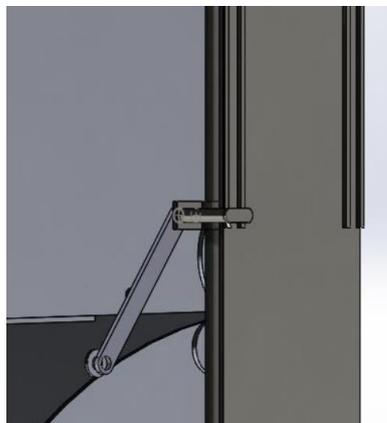


Figura 2.7 Diseño de mecanismo biela corredera

Principales ventajas:

- Manufactura relativamente sencilla
- Auto bloqueante cuando no se transmite torque
- Control preciso del ángulo de apertura

Principales desventajas:

- Número de piezas móviles grande (alto riesgo de falla)
 - Difícil mantenimiento
 - Difícil ensamblaje
- Mecanismo de Poleas y cables



Figura 2.8 Mecanismo de cables y poleas

Principales ventajas:

- Diseño sencillo
- Bajo costo de fabricación
- Fácil mantenimiento

Principales desventajas:

- Riesgo de oxidación alto
- Sistema no es auto bloqueante
- Mantenimientos e inspecciones continuas

Los criterios para seleccionar el mecanismo de transmisión adecuado son:

- Facilidad de diseño: Un mecanismo que sea comúnmente usado y no requiera de una mayor complejidad para realizar su función.
- Mantenimiento: Capacidad de evitar desmontar todo el sistema para realizar el mantenimiento.
- Potencial de contaminación: Evitar el uso de componentes o materiales que alteren el medio en el que se encuentran los camarones.

- Costos de fabricación: Piezas adquiridas localmente y que no requieran de un maquinado que aumente el costo de fabricación.
- Confiabilidad: El diseño debe asegurar su funcionamiento bajo el agua.

El diseño seleccionado para accionar el movimiento de la compuerta es el mecanismo de poleas y cables, ya que garantiza una facilidad de diseño y mantenimiento, bajo potencial de contaminación debido a que no requiere de lubricantes ni materiales contaminantes para el medio y un bajo costo de fabricación debido a que sus componentes son accesibles en el mercado, véase el detalle de la matriz de decisión en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Matriz de decisión de los tipos de mecanismos de transmisión.

MATRIZ DE DECISIÓN						
TIPOS DE MECANISMOS DE TRANSMISIÓN						
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	
Descripción	Facilidad de diseño	Mantenimiento	Potencial de Contaminación	Costos de fabricación	Confiabilidad	Total
Ponderación	10%	30%	40%	10%	10%	100%
Mecanismo de Ratchet	3	4	5	5	9	5
Mecanismo biela corredera	5	5	10	6	10	7,35
Mecanismo de cables y poleas	10	10	10	10	7	9,55

2.4 Normativas de referencia

El desarrollo de los cálculos y el diseño conceptual y detallado del proyecto se llevó a cabo en base a la normativa NBR 8883, la norma AISC (1994), EM 1110-2-2702 y DIN 4130.

2.5 Diseño conceptual

El diseño conceptual se desarrolló bajo las características y requerimientos anteriormente expuestos. El sistema de compuertas tipo vertedero que se observa en la Figura 2.4 está conformado por dos planchas rectangulares

de acero ASTM A36 con recubrimiento anticorrosivo que asegura su durabilidad temporal en medios marinos. El accionamiento de las compuertas es independiente, ya que cuenta con un motor para cada una, que conectado a un sistema de poleas y cables permite el movimiento angular de éstas, siendo sus mínimos y máximos ángulos de cierre y apertura, cero y noventa grados correspondientemente. Además, cuentan con sellos laterales y un sello entre ellas que evitan el escape del fluido. Observar Figura 2.9.

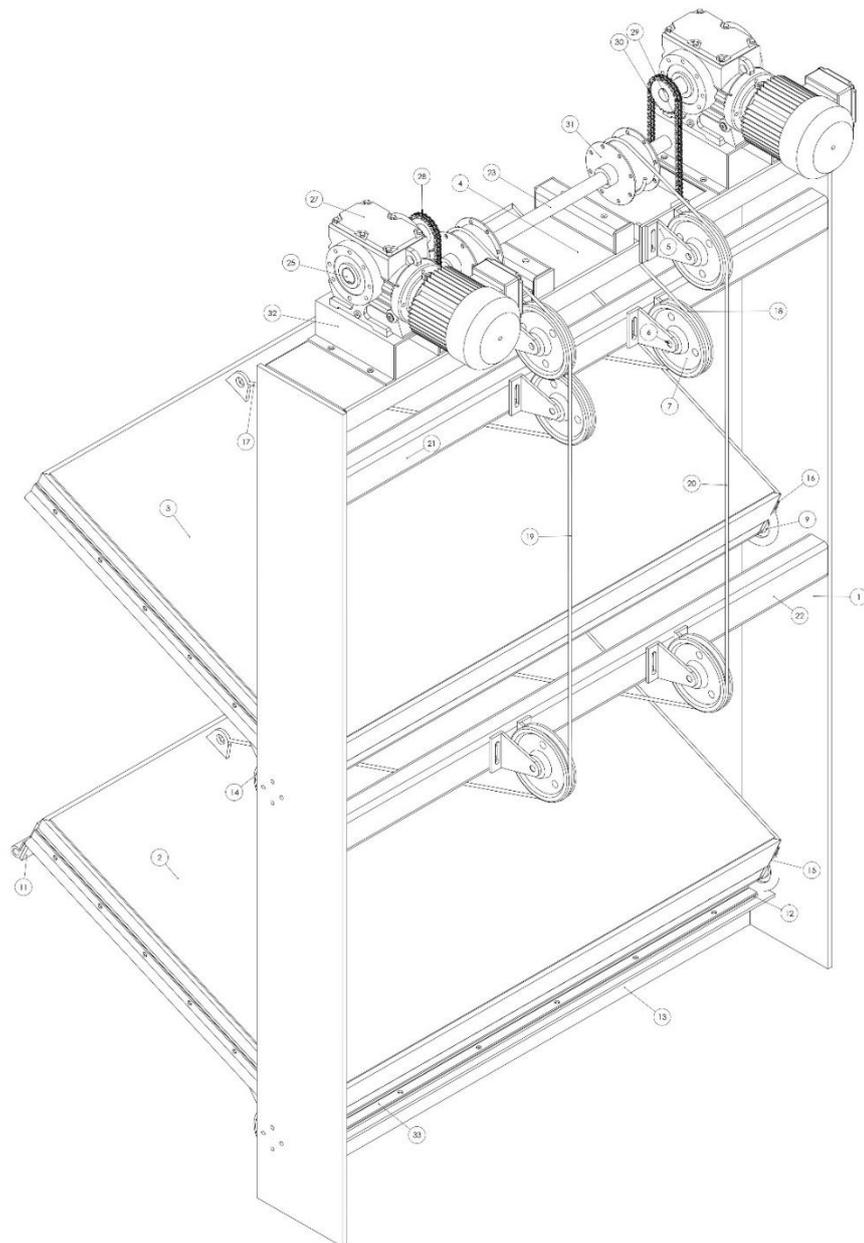


Figura 2.9 Diseño conceptual de la compuerta hidráulica

2.6 Diseño detallado

2.6.1 Cargas sobre la compuerta

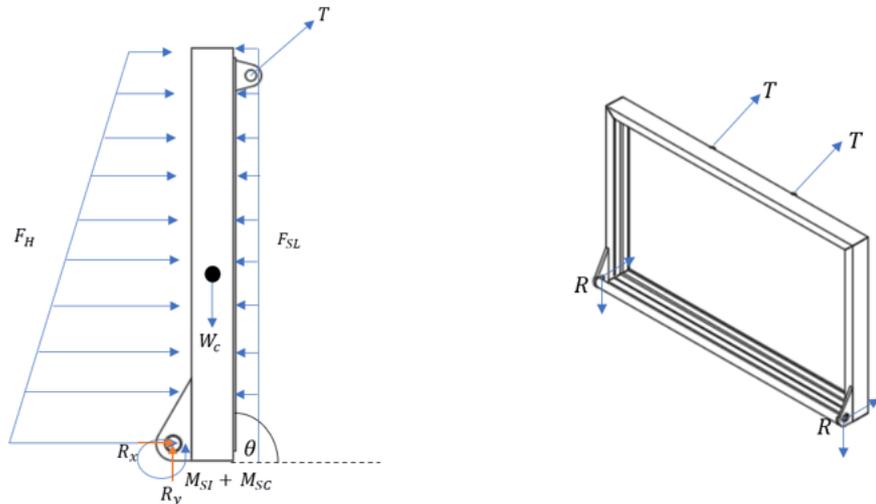


Figura 2.10 Diagrama de cuerpo libre de la compuerta superior en el que se indican las fuerzas que actúan sobre la compuerta.

Se realizó el análisis de fuerzas para la compuerta superior (ver Figura 2.10) ya que se considera un elemento crítico, evaluando los casos en los que la compuerta varía su ángulo de apertura, para determinar el valor de la máxima fuerza ejercida. Considerando lo que indica la norma NBR 8883 que establece que para el cálculo de la fuerza hidrostática se utiliza la ecuación (2.1).

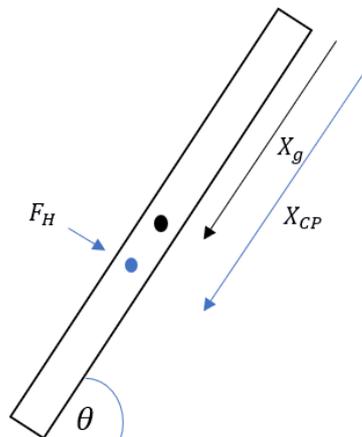


Figura 2.11 Diagrama del punto de aplicación de la fuerza hidrostática en la compuerta superior.

$$F_H = \gamma \text{sen}(\theta) X_g A \quad (2.1)$$

Donde:

F_H : Fuerza hidrostática

γ : peso específico

α : ángulo de inclinación

X_g : Distancia al centro de gravedad de la compuerta superior

X_{CP} : Distancia al centro de presiones de la compuerta superior

X'_{cp} : Distancia al centro de presiones de la compuerta superior

X'_g : Distancia al centro de gravedad de la compuerta inferior

Se considera la carga provocada por sismo en donde es calculada con la ecuación (2.2) de acuerdo con la Norma 8883.

$$P_{sismo} = \frac{7}{8} \gamma k \sqrt{H_r * H} \quad (2.2)$$

Donde:

P_{sismo} : Presión dinámica provocada por sismo

k : Factor debido al sismo

H_r : Diferencia de altura desde el nivel superior hasta el fondo del depósito.

H : Altura del líquido en contacto con la cara de la compuerta.

Para determinar la fuerza de sismo que actúa sobre la cara de la compuerta se multiplicó el área de contacto con la presión de sismo.

$$F_{sismo} = H_C * a_C * P_{sismo} = H_C a_C \frac{7}{8} \gamma k \sqrt{H_r * H} \quad (2.3)$$

La carga resultante de la fuerza de arrastre se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$F_{arrastre} = \frac{1}{2} \rho V^2 AC \quad (2.4)$$

Donde:

$F_{arrastre}$: Fuerza de arrastre

ρ : Densidad del agua

C : Factor de forma

V : Velocidad de corriente

A : Área de la cara de la compuerta.

Además, se calculan las fuerzas y momentos ejercidos por los sellos laterales e inferior con la ecuación (2.5) que indica la norma EM 1110-2-2702.

$$F_{SL} = \mu_s S l + \mu_s \gamma_w \frac{d}{2} (l_1 \frac{h}{2} + h l_2) \quad (2.5)$$

Donde:

F_{SL} : Fuerza en el sello lateral

μ_s : Coeficiente de fricción del sello lateral

l : longitud total del sello lateral

l_1 : longitud del sello lateral desde aguas arriba hacia aguas abajo

l_2 : longitud del sello lateral desde la elevación aguas abajo a fondo del sello

S : fuerza por unidad de longitud inducida por el preajuste del sello y puede ser aproximada con la ecuación (2.6).

$$S = \frac{3\delta EI}{d^3} \quad (2.6)$$

Donde:

δ : distancia preestablecida del sello

γ_w : peso unitario del agua

d : ancho del sello tipo nota musical expuesto a la presión hidrostática superior de la piscina

h : distancia vertical tomada desde la superficie de la cabecera hasta el fondo del sello cuando no hay agua en la compuerta.

Uno de los elementos críticos del sistema es el eje de botella, ya que es el que soporta la carga transmitida por la compuerta, por lo que se realizó un análisis de fuerzas (ver Figura 2.12) para determinar el factor de seguridad con el que trabaja el eje. El material del pasador es acero AISI 316 que tiene una resistencia de 580 MPa y se elegirá un diámetro de 25.4 mm.

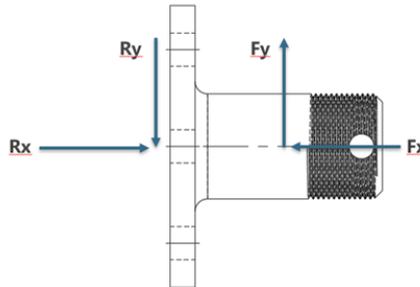


Figura 2.12 Diagrama de cuerpo libre del eje de botella

$$N = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (2.7)$$

Donde:

N : factor de seguridad

S_{sy} : Resistencia corregida

σ : Esfuerzo aplicado

2.6.2 Dimensiones de las planchas de la compuerta

Para determinar el espesor de cada plancha de acero de la compuerta, primero se realizó el cálculo del esfuerzo que soportarían las mismas.

El esfuerzo admisible según la tabla 5.2 de la norma NBR 8883, tiene un factor de 0.89, el esfuerzo de fluencia σ_{sy} del acero ASTM A36 es 248.1 MPa, finalmente se le aplicó un factor de seguridad de 2, de acuerdo con la siguiente ecuación el esfuerzo admisible es:

$$\sigma_{adm} = \sigma_{sy}(0.89)(2) \quad (2.8)$$

En base a las dimensiones de las planchas de acero (ancho, $b=1.2$ m y altura, $a=0.75$ m), se realizó el cálculo de la presión efectiva en la mitad de la altura de la placa con mayor profundidad.

$$P_e = \frac{7}{8} \gamma k \sqrt{\left(H - \frac{a}{2}\right)^2} + \gamma \left(H - \frac{a}{2}\right) + 1/2 \rho V^2 C \quad (2.9)$$

Luego se determinó la relación entre b y a, para escoger los coeficientes k y α para los esfuerzos según la tabla 5.3 de la norma NBR 8883, una vez ya determinados los esfuerzos anteriormente mencionados se procedió se calcular el espesor t de las planchas con la siguiente ecuación.

$$t = \sqrt{\frac{k}{100} P_e \frac{a^2}{\sigma_{adm}}} \quad (2.10)$$

Donde:

k: Coeficiente en función de las condiciones de apoyo de la Tabla 8 de la Norma NBR 8883.

a: menor dimensión de placa

b: mayor dimensión de placa

t: espesor de la plancha

P_e : presión hidrostática pura en el centro de la placa.

2.6.3 Número de refuerzos horizontales en las compuertas

Se agregaron refuerzos horizontales en las compuertas, pero para el cálculo de la cantidad de vigas que se necesitan se tomó como caso crítico la compuerta que soporta mayor presión hidrostática, es decir, la inferior. Se establece la ecuación (2.11) tomada del libro de Compuertas Hidráulicas de Ferreira.

$$N_0 = \frac{100h}{t} \sqrt{\frac{H_m}{2\sigma_{adm}}} \quad (2.11)$$

Donde:

N_0 : es el número de vigas mínima de la compuerta

h: altura de sellado de la compuerta en metros

σ_{adm} : Esfuerzo admisible de flexión del acero en MPa

t: espesor de la plancha de la compuerta en mm

H_m : metros de columna de agua en la compuerta

2.6.4 Refuerzos horizontales

Para la selección de los refuerzos horizontales, se realizó un análisis de cargas asumiendo un ángulo 63.5 x 50.8 x 4.76 mm, de acero estructural A36 (esfuerzo de fluencia σ_{sy} de 248.1 MPa) sometido a una carga distribuida de acuerdo a la presión hidrostática en el refuerzo crítico que corresponde al refuerzo horizontal inferior. Finalmente se calculó el factor de seguridad.

$$N = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{max}} \quad (2.12)$$

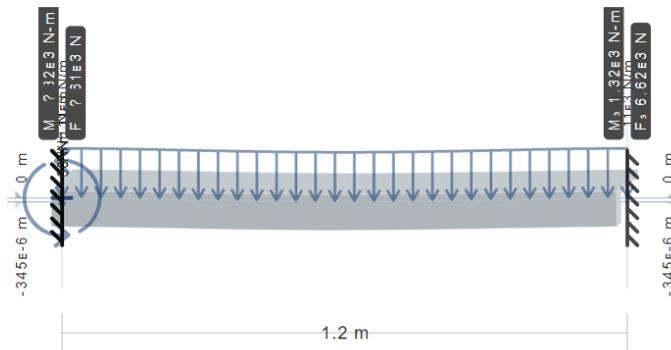


Figura 2.13 Diagrama de cuerpo libre del refuerzo horizontal inferior sometido a una carga distribuida por la presión hidrostática.

2.6.5 Refuerzos verticales

En este caso se decidió utilizar el mismo ángulo que las vigas horizontales debido a que estos se encuentran sometidos a una mayor carga que los verticales. Esto se da ya que la carga distribuida de estos refuerzos tiene un valor mínimo (punto superior) y un máximo (punto inferior), resultando en una carga media menor a la del refuerzo horizontal (constante en toda la longitud de la viga). Se utiliza la ecuación (2.12) para hallar el factor de seguridad de este elemento.

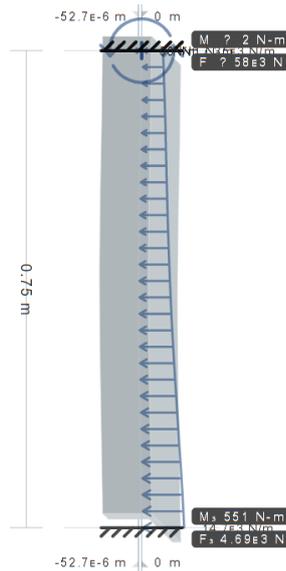


Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre del refuerzo vertical de la compuerta inferior en el que la carga distribuida actúa de menor a mayor según cómo aumenta la presión hidrostática.

2.6.6 Cálculo de tensión en compuerta inferior

Considerando el diseño de forma (ver Figura 2.9), el diagrama de fuerzas de la compuerta superior que es el mismo para la compuerta inferior (ver Figura 2.10), el análisis para el cálculo de la presión hidrostática y la fricción de los sellos laterales e inferiores se pudo definir un sistema de ecuaciones con el diagrama de cuerpo libre de la compuerta inferior (caso crítico al estar sometido a una mayor presión hidrostática) en donde se puede determinar la tensión T y las reacciones de los pines R_x y R_y .

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.152 \\ 0 & 1 & -0.989 \\ 0.006 & 0.006 & 0.220 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10145.34 \\ 68.00 \\ 7652.42 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

2.6.7 Selección del cable, tambor y polea

Para la selección de los elementos de transmisión que permiten el movimiento de las compuertas se consideró como caso crítico la compuerta inferior ya que es la que soporta mayor presión hidrostática. Para esto se calculó el diámetro del cable con la ecuación (2.14) y se lo seleccionó de acuerdo con el catálogo de cables de acero inoxidable (ver Apéndice A) escogiendo un coeficiente k de 0.30, sugeridos por la norma DIN 4130.

$$d = k\sqrt{C_e} \quad (2.14)$$

Donde:

d : diámetro del cable

k : coeficiente en función del grupo de elevación (Tabla 5.6.1-5 DIN 4130)

La selección del tambor y la polea se realiza con la misma ecuación (2.14) en base a la norma del cable acerado, en donde varía el coeficiente c según la Tabla 5.6.1-5 DIN 4130.

C_e : Carga efectiva en kgf.

Adicionalmente, con la ecuación (2.15) de la norma DIN 4130 se procedió a calcular el ancho del tambor. Se debe en primer lugar calcular el número de vueltas n requeridos para completar el recorrido de la compuerta.

$$n = \frac{L}{\pi * d_{tambor}} \quad (2.15)$$

En donde:

n : Número de vueltas para completar el recorrido de la compuerta

L : Longitud total del cable acerado

d_{tambor} : Diámetro del tambor

Como consideración de la norma, el número de vueltas deberá ser al menos 3 más que la calculada en la ecuación (2.15).

$$n' = n + 3 \quad (2.16)$$

Adicionalmente se calculó el coeficiente s el cual indica la distancia entre las espiras que van a recogerse en el tambor el cual sigue la siguiente fórmula.

$$s = d_{cable} + 1 \quad (2.17)$$

Habiendo hallado estos coeficientes, la ecuación para el ancho del tambor es la siguiente:

$$A = s * n' \quad (2.18)$$

En donde:

A : Ancho del tambor

s : Distancia entre espiras

n' : Número de vueltas corregidas

2.6.8 Soporte para poleas de compuerta inferior

Se llevó a cabo un análisis de cargas del soporte para (ver Figura 2.15) poleas de la compuerta inferior para determinar el factor de seguridad de dicha viga dado que se encontraría sometida a la presión hidrostática además de la tensión ejercida por las poleas. Para este caso se consideró el caso crítico en el que toda la tensión actúa radialmente respecto a la viga. Este caso no puede ocurrir en la implementación del diseño dado que la tensión de las poleas tiene componentes radiales y axiales por el montaje de las poleas. Sin embargo, se decidió considerar este criterio para poder asegurar que la viga seleccionada cumplirá los requerimientos en todos los casos posibles.

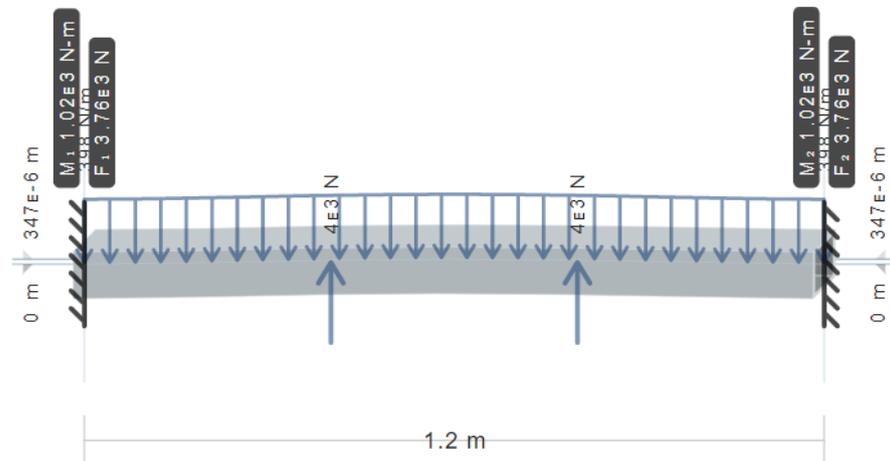


Figura 2.15. Diagrama de cuerpo libre de soporte para poleas de compuerta inferior en el que actúan una carga distribuida debido a la presión hidrostática y dos cargas puntuales debido a las poleas.

Se consideró en el diseño de forma un tubo rectangular de acero estructural A36 de 76.2 x 50.8 x 4.76 mm soldado en ambos extremos al marco de la estructura principal. Se procedió a utilizar la ecuación (2.12) para calcular el factor de seguridad de este elemento.

2.6.9 Potencia para el accionamiento de las compuertas

Se determinó la tensión en los cables y el torque de la compuerta inferior (elemento crítico) que permitirán el movimiento angular de las compuertas, de acuerdo con el diagrama de fuerzas de la Figura 2.10.

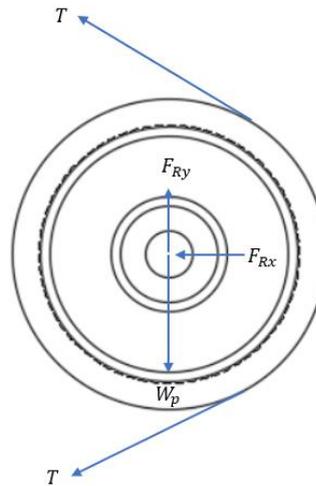


Figura 2.16 Diagrama de cuerpo libre de la polea

Posteriormente se calculó la potencia que se requiere para hacer la correcta selección del motor, sabiendo que la velocidad de apertura sugerida por la Norma NBR 8883 es de 10 rpm.

$$P = \frac{\text{Torque} * \omega}{716} \quad (2.19)$$

2.7 Análisis del sistema de control

El diagrama de bloques presentado en el Apéndice G indica el control secuencial propuesto para controlar el nivel de agua de la piscina. Se trata de un control secuencial que consta de dos modos principales: Modo Monitoreo y Modo Cosecha de acuerdo con los requerimientos principales de la piscina.

El Modo Monitoreo le permite al usuario mantener un nivel y flujo considerando un nivel mínimo de un metro para prevenir el barbeo (cuando el camarón se asienta en las orillas de la piscina). Bajo esta premisa, el control únicamente mantendrá el nivel en la primera compuerta ya que solo en esa altura se cumpliría la condición.

La secuencia en este modo es la siguiente: Si el nivel de la piscina es mayor al nivel deseado, se activa el primer motor. El eje del tambor tendrá anexado un encoder absoluto que medirá continuamente su posición lo cual indicará el ángulo de apertura de la compuerta. El motor se detendrá cada vez que el eje se mueva cinco grados por un tiempo determinado, para de esta manera permitir al sistema reducir el nivel y que el sensor pueda enviar posteriormente la medición del nivel estabilizado. De mantenerse el nivel por encima del deseado, se seguirá abriendo la compuerta cinco grados repitiendo el proceso de acción y medición hasta llegar a la referencia. Una vez llegado al nivel deseado, el sistema únicamente se mantendrá midiendo el nivel hasta que exista un cambio requiera que la compuerta se siga abriendo o cerrando. Cabe resaltar que para el caso de desear un nivel mayor al de la piscina, el control repetirá el movimiento a pasos del motor, pero en el sentido contrario para poder recoger lentamente la compuerta hasta quedar completamente cerrada.

Para el modo Cosecha, se tiene la condición de que el nivel referencial puede definirse de 0 a 75 centímetros, dado que en este caso se busca vaciar el agua de las compuertas manteniendo un flujo que no genere una turbulencia que afecte al camarón. El procedimiento es similar al modo Monitoreo. En este caso, si el nivel es mayor al deseado, se comienza abriendo la compuerta superior continuamente hasta quedar completamente abierta. Una vez llegado a este punto, el motor de la compuerta inferior se activa y se va abriendo a pasos de la misma manera que en el modo Monitoreo hasta llegar a la referencia. En caso de que el nivel deseado sea superior al de la piscina, se irá cerrando la compuerta inferior poco a poco hasta llegar a la referencia. Si no llega, entonces se comienza a cerrar toda la compuerta superior y requeriría entonces cambiar al modo Monitoreo para controlar ese nivel.

Cabe destacar que este control permite cerrar completamente las compuertas en cualquiera de los dos casos poniendo la referencia del nivel por encima de lo físicamente posible por la geometría de las compuertas (por ejemplo, poner una referencia de 3 metros a una compuerta de 1.5 metros). De esta forma, se permite detener el proceso sin necesidad de apagar el sistema.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

La presente sección corresponde a los resultados obtenidos del proceso del capítulo anterior para la operación del sistema, el dimensionamiento de las piezas que componen la compuerta, así como el cálculo de la potencia requerida para el motor de accionamiento. Por otro lado, se muestra la comparación de los resultados teóricos en contraste con los resultados obtenidos mediante F.E.A., para los elementos más importantes.

3.1 Resultados teóricos

3.1.1 Resultados del análisis de las cargas estáticas y dinámicas

Las cargas más importantes que actúan sobre la compuerta se generan en la pantalla de las compuertas, en específico las principales fuerzas se aplican en el lado que se moja de la compuerta. Estas cargas principales corresponden a la fuerza hidrostática, las fuerzas inerciales producto de sismos y las cargas de arrastre debido a la dinámica del fluido, en esta última carga se deben realizar serias asunciones para poder realizar el cálculo.

En el caso de la fuerza hidrostática ejercida sobre la compuerta se consideró el supuesto de máxima carga, la cual se produce en la compuerta inferior en el caso de que ambas compuertas estén cerradas a su totalidad. En el caso de las fuerzas producidas por los sismos se tomó el valor promedio de aceleración registradas en la última década en Ecuador, por lo que corresponde a un valor representativo en el tiempo y en magnitud. Finalmente se consideraron las fuerzas dinámicas producidas por el arrastre de las corrientes de agua que se permite fluir con la compuerta, para lo cual se emplearon los valores en referencia a otros autores en circunstancias similares, así mismo el coeficiente de arrastre usado se asume constante para todos los ángulos de apertura de la compuerta. En los resultados mostrados en la Tabla 3.1 se puede notar que la máxima fuerza hidrostática ocurre cuando ambas puertas están cerradas.

Calculando la presión hidrostática P_e con la siguiente ecuación se obtiene:

$$P_e = \rho g Y_p \quad (3.1)$$

Donde Y_p es la distancia desde el nivel de agua hasta el centro de la placa (se asume que el agua cubre las dos compuertas), es decir, $Y_p = 1.125$ m.

$$P_e = 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.125m$$

$$P_e = 11025 Pa$$

Tabla 3.1 Resultados de la presión hidrostática ejercida sobre las compuertas.

	Presión hidrostática	
	Mínima	Máxima
Compuerta superior	0 N	4802 Pa
Compuerta inferior	0 N	11025 Pa

3.1.2 Geometría de la compuerta

Los requerimientos técnicos de diseño presentados en la Tabla 2.1 permitieron obtener los resultados del espesor de la compuerta calculado con la ecuación (2.10). Además, se determinó con la ecuación (2.11) el número de refuerzos horizontales que se necesitan para evitar una mayor deformación en la compuerta. En la Tabla 3.3 se pueden visualizar los detalles de la estructura de la compuerta.

A continuación, se reemplazan los valores correspondientes en la ecuación (2.8) para el cálculo del esfuerzo admisible.

$$\sigma_{adm} = 248.1MPa * 0.89$$

$$\sigma_{adm} = 220.81 MPa$$

De la tabla 3 de la Norma NBR 8883 ubicada en Anexos, se hallan los coeficientes para k en base a la relación $\frac{b}{a} = 1.6$, además se realiza el cálculo de los espesores correspondientes a cada coeficiente, reemplazando los valores en la ecuación (2.10).

$$t = \sqrt{\frac{46.66}{100} * 0.01102 \frac{0.75^2}{220.81}}$$

$$t = 3.62 [mm]$$

Tabla 3.2 Coeficientes K seleccionados y espesores de la placa correspondientes.

Coeficientes K		Espesores de la placa para cada coeficiente K [mm]	
S1x	22.82	t1x	2.53
S1y	11.64	t1y	1.81
S4y	34.3	t4y	3.10
S3x	46.66	t3x	3.62

Se seleccionó en base al coeficiente K mayor, debido a que éste corresponde al esfuerzo mayor que soporta la placa. Esto resultó en un espesor mínimo de 3.62 mm, por lo cual se decidió utilizar una placa de acero estructural A36 de 4 mm de espesor. Con este resultado se procedió a calcular el nuevo esfuerzo admisible para el espesor seleccionado y el factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{K}{100} P_e \frac{a^2}{t^2}$$
$$\sigma = \frac{46.6}{100} (11025) \frac{0.75^2}{0.004^2}$$
$$\sigma = 180.85 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad se calcula considerando que el esfuerzo de fluencia de la placa es $\sigma_{sy} = 248.1$ MPa.

$$N = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma}$$
$$N = \frac{248.1}{180.85}$$
$$N = 1.3$$

3.1.3 Resultados de refuerzos en las compuertas

Se realizó el cálculo del número de refuerzos horizontales que requiere la compuerta.

$$N_0 = \frac{100h}{t} \sqrt{\frac{H_m}{2\sigma_{adm}}}$$
$$N_0 = \frac{100(1.5)}{4} \sqrt{\frac{1.5}{2(220.81)}}$$

$$N_0 = 2.18$$

De acuerdo con este resultado se requieren utilizar más de dos refuerzos horizontales de acuerdo a la norma. Siguiendo este criterio, se utilizaron dos refuerzos horizontales y dos refuerzos verticales.

Se seleccionó un ángulo de acero estructural A36 de 63.5 x 50.8 x 4.76 mm a criterio del diseño de forma propuesto. Con este ángulo se realizó el cálculo del factor de seguridad en base al análisis de cargas en el caso de la viga crítica (refuerzos de compuerta inferior). Para la visualización de los diagramas de fuerza cortante, momento flector se utilizó una herramienta en línea.

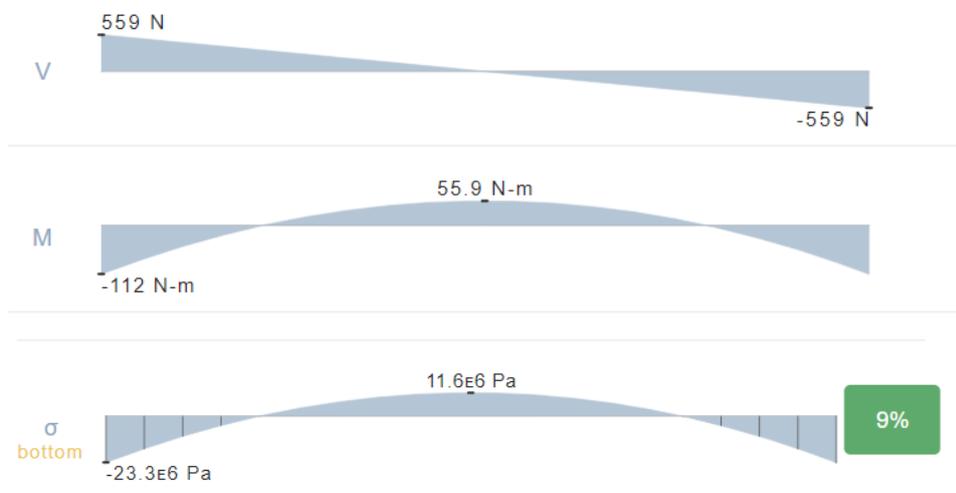


Figura 3.1 Diagrama de fuerza cortante, momento flector y esfuerzos de refuerzo horizontal de compuerta inferior

Con este análisis se determinó que el momento máximo fue de 112 Nm y el esfuerzo máximo σ_{max} en este punto fue de 23.3 MPa, con lo que se determina el factor de seguridad siguiente.

$$N = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{max}}$$
$$N = \frac{248.1}{23.3}$$
$$N = 10.6$$

Se repitió el mismo análisis para los refuerzos verticales. En este caso, se tomó como crítico el refuerzo vertical de la compuerta inferior, en donde se obtuvieron los siguientes diagramas.

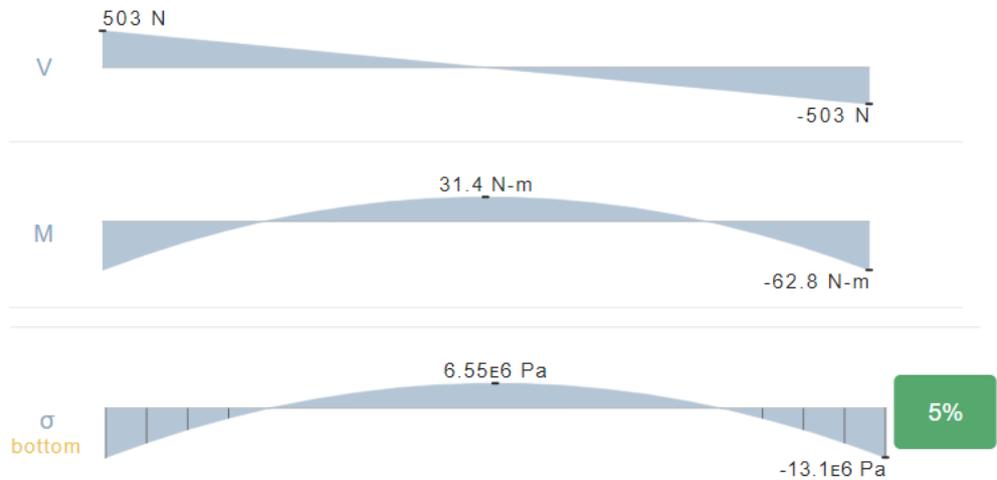


Figura 3.2 Diagrama de fuerza cortante, momento flector y esfuerzos de refuerzo vertical de compuerta inferior

Dado que el esfuerzo máximo del refuerzo vertical (13.1 MPa) es menor al del refuerzo horizontal (23.3 MPa), se decidió utilizar el mismo ángulo para esta aplicación.

Tabla 3.3 Dimensiones y elementos que conforman la compuerta.

Material:	Acero ASTM A36
Largo:	0.75 m
Ancho:	1.2 m
Espesor:	4 mm
Número de refuerzos horizontales:	2 unidades
Número de refuerzos verticales:	2 unidades
Material de los refuerzos:	Acero ASTM A36
Tipo de refuerzos:	Ángulos 63.5 x 50.8 x 4.7 mm

3.1.4 Resultados de soporte de poleas para compuerta inferior

De acuerdo a la Figura 2.15 se desarrollaron los diagramas de fuerza cortante, momento flector y esfuerzos (ver Figura 3.3) para determinar el factor de seguridad del elemento.

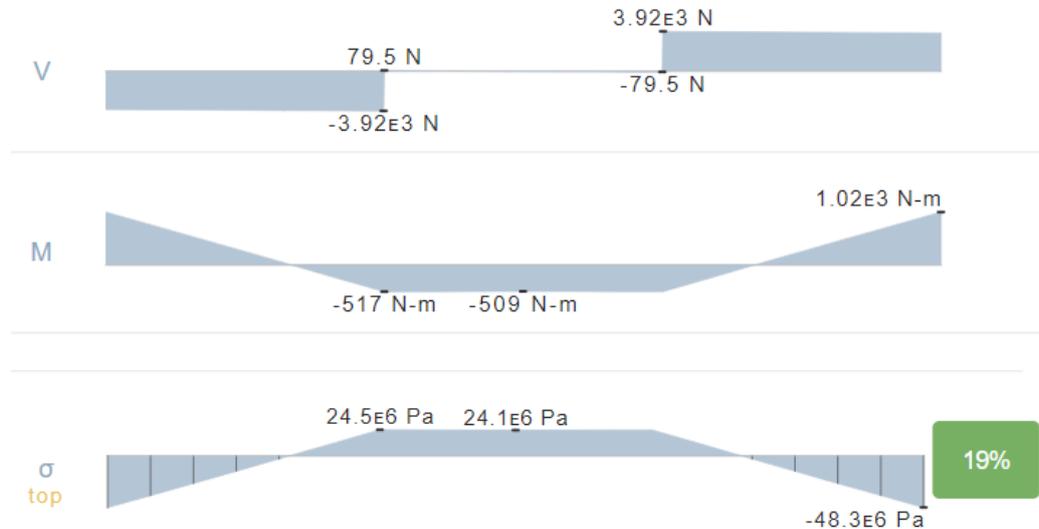


Figura 3.3. Diagrama de fuerza cortante, momento flector y esfuerzos de soporte para poleas

Se determinó que el esfuerzo máximo σ_{max} al que está sometida la viga es de 48.3 MPa. Con esto se procedió a calcular el factor de seguridad correspondiente.

$$N = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{max}}$$
$$N = \frac{248.1}{48.3}$$
$$N = 5.13$$

3.2 Consideraciones de apertura de la compuerta

Debido a que la compuerta es abierta mediante un sistema de cables y poleas es importante analizar la apertura de ésta para distintos ángulos, ya que esto determina el rango de operación de la compuerta y la factibilidad del sistema de poleas. En la Tabla B. 2 ubicada en el Apéndice B, se presentan los resultados del análisis para la compuerta superior.

Para el caso de la compuerta inferior no se realiza este análisis debido a que cuando apertura la compuerta superior ya no tiene nivel de agua, por lo que su

comportamiento sería idéntico al mostrado por la compuerta superior. No obstante, si necesario calcular la tensión generada sobre esta cuando las dos compuertas están cerradas.

Como se puede ver en la Figura 3.4, el torque que intenta abrir la compuerta siempre es mayor que cero, por lo que cabe esperarse que la compuerta abra en todas las posiciones.

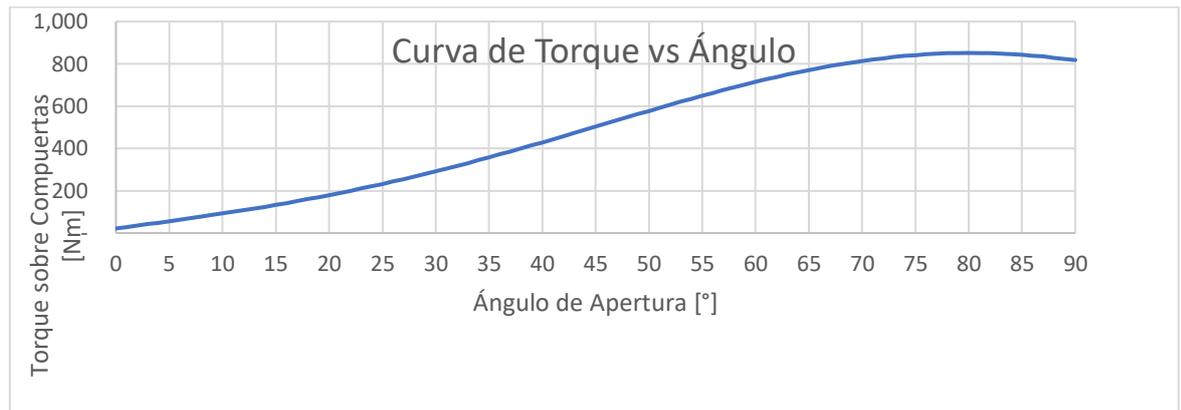


Figura 3.4 Curva de torque [Nm] vs ángulo de apertura de la compuerta superior [°]. El comportamiento de la línea azul indica cómo varía el torque de acuerdo a su ángulo de apertura.

De acuerdo al sistema de ecuaciones se procedió a determinar la tensión y reacciones en el eje x e y de la compuerta inferior (caso crítico para diseñar los elementos de transmisión)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.555 \\ 0 & 1 & 0.832 \\ 0.006 & 0.006 & 0.804 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -13\,088.34 \\ 6\,689.75 \\ 6\,490.61 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.555 \\ 0 & 1 & 0.832 \\ 0.006 & 0.006 & 0.804 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -13\,088.34 \\ 6\,689.75 \\ 6\,490.61 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8\,577.95 \\ -75.84 \\ 8\,131.23 \end{bmatrix}$$

Con esto se determinó que la tensión total del cable acerado es de 8131.23 N. Note también que de este análisis se obtiene la tensión del cable, realizando un análisis similar para la compuerta inferior se obtiene una tensión máxima de 8131

N, lo que nos permite seleccionar los diámetros de cable, tambor y polea necesarios. Observar Tabla 3.5.

3.3 Selección de cable, polea y tambor

Una vez determinada la tensión total a la que está sometida la compuerta inferior, se procedió a calcular el diámetro mínimo del cable acerado de acuerdo con la ecuación (2.14). Cabe mencionar que debido a que se utilizaron dos poleas, de igual manera la tensión se distribuye para dos.

En primer lugar, se utilizó la ecuación (2.14) para determinar el diámetro del cable.

$$d = k\sqrt{C_e}$$

$$d = (0.3)\sqrt{407.75}$$

$$\mathbf{d = 6.0[mm]}$$

Con este resultado se selecciona un cable de acero inoxidable de 6 mm, de acuerdo al catálogo encontrado en el Anexo Inoxidable 304 CIN-6X19AAI0006 de una carga mínima de rotura de 2090 kgf (ver Apéndice D).

Siguiendo la norma, se procedió a calcular el diámetro de la polea y el tambor con la misma ecuación (2.14), pero variando los coeficientes c de acuerdo con la Tabla 5.6.1-5 de la norma DIN 4130 ubicada en el Apéndice C.

Para la polea se utilizó un factor c de 7 y se obtuvo lo siguiente:

$$d_{polea} = c\sqrt{C_e}$$

$$d_{polea} = 7 * \sqrt{407.75}$$

$$\mathbf{d_{polea} = 141.35 [mm]}$$

Con este diámetro se seleccionó una polea con el catálogo hallado en el Anexo, siendo el modelo RZ-0.5 el sugerido para el diámetro del cable y la polea determinados.

Para el tambor se tiene un coeficiente c de 5, con lo que se obtuvo lo siguiente:

$$d_{tambor} = c\sqrt{C_e}$$

$$d_{tambor} = 5 * \sqrt{407.75}$$

$$d_{tambor} = 100.96 [mm]$$

Adicionalmente, se debe calcular el ancho del tambor para el recorrido que realizará. Siguiendo la ecuación (2.15) para el número de espiras n se calculó lo siguiente:

$$n = \frac{L}{\pi * d_{tambor}}$$

$$n = \frac{1.3}{\pi * 0.101}$$

$$n = 4.1$$

Con esto se determinó el número de vueltas corregido n' .

$$n' = n + 4$$

$$n' = 4 + 4$$

$$n' = 8$$

Posteriormente se procedió a calcular la distancia entre espiras con la ecuación (2.17).

$$s = d_{cable} + 1$$

$$s = 6 + 1$$

$$s = 7$$

Finalmente, se calculó el ancho del tambor con la ecuación (2.18).

$$A = s * n'$$

$$A = 7 * 8$$

$$A = 56 [mm]$$

Para facilitar el diseño de forma, se decidió utilizar un ancho del tambor de 60 mm, lo que nos asegura una mayor holgura al momento de realizar las vueltas, lo cual recomienda la norma DIN 4130.

Tabla 3.4 Dimensiones de cable, polea y tambor

Material del cable:	Acero Inoxidable AISI 304
Longitud del cable:	1.3 m
Diámetro del cable:	6 mm

Diámetro de polea:	150 mm
Diámetro de tambor:	100 mm
Ancho del tambor:	60 mm
Número de espiras del tambor	8

Otro aspecto importante es la reacción total sobre el pin de la compuerta, el cual para la compuerta inferior se obtiene un valor de 10870 N, fuerza que se usa para el cálculo del diámetro del pin, el cual se determinó su valor en 25.4 mm.

La selección del motorreductor se realizó a través de catálogos, en el que la potencia requerida resultó 0.433 kW con un par de salida de 437 Nm, por lo que se escoge un motorreductor Siemens frame KF48-LA71M4 con las siguientes características (ver Figura D.3).

- Índice de reducción: 169.53
- Velocidad de entrada: 1644.4 rpm
- Velocidad de salida: 9.7 rpm
- Frecuencia: 60 Hz
- Voltaje: 220 V

3.4 Análisis de elementos finitos

Para la comprobación de los esfuerzos y deformaciones que se producen en los elementos del diseño a carga máxima se realizó un análisis de elementos finitos mediante el programa ANSYS 2022 en su versión estudiantil, dicha licencia se distribuye con gran parte del paquete de análisis estructural con la única limitación del número de nodos que permite (hasta 32 000), lo que limita la calidad de malla que se puede generar en una pieza, no obstante, para este caso de aplicación en específico y debido a la dimensión de los elementos a simular, se logró tener buenos resultados aún con estas limitaciones.

El programa de diseño asistido por computadora usado preferentemente en este trabajo es SOLIDWORKS, el cual permite una gran agilidad durante las iteraciones de rediseño o cambio de las piezas. Así mismo, en las primeras iteraciones y pruebas de los elementos diseñados, se hizo uso del módulo de análisis de elementos finitos incluido en el paquete de SOLIDWORKS, de

manera que se aproximara a una solución óptima antes de su fase de comprobación en el programa de ANSYS.

La metodología de trabajo usada para realizar el análisis de elementos finitos es la siguiente, para ello se tomara como ejemplo el análisis estructural de las compuertas, así inicialmente y mediante los requerimientos de diseño se definió la carga principal como la carga hidrostática distribuida en dirección normal a la pantalla de las compuertas, cuando la piscina se encuentra en su máximo nivel donde toda la pantalla esta inundada y en el caso de la compuerta inferior el nivel de referencia del agua está por encima de misma (caso crítico). Adicionalmente, se consideró un mallado irregular para solidos con estructuras tetraédricas de primer orden (4 caras y 4 nodos), en caso de que se quiera realizar este análisis para compuertas de mayor dimensión, es recomendable el uso de sólidos hexaédricos (6 caras y 8 nodos) en especial en el caso de vigas y columnas. La calidad de malla aplicada al diseño se basa en la curvatura, aportando mayor densidad de malla en aquellos puntos donde existan esquinas o perforaciones, con una longitud de elementos promedio de 8 mm para el caso de las compuertas, estos valores se cambian dependiendo de la pieza a analizar para un aprovechamiento del número de nodos disponibles en ANSYS.

3.4.1 Desplazamientos en compuerta superior

La selección de los elementos mecánicos se realizó mediante el cálculo de las fuerzas que interactúan con los principales elementos mecánicos. En el caso de la compuerta se generalizó su análisis a un caso de dos dimensiones, lo que permitió realizar un cálculo rápido de las fuerzas de reacción sobre la bisagra además de las fuerzas hidrostáticas que producen la deformación en la pantalla y la tensión de la polea para mantener la compuerta estática.

A partir del análisis descrito y las ecuaciones señaladas en el capítulo anterior se realizó la selección del cable a usar, el dimensionamiento de las poleas y la selección del espesor de la plancha para fabricar los soportes

de la polea. Por otro lado, mediante el cálculo de las fuerzas hidrostáticas se pudo determinar la posición más eficiente para los refuerzos de la pantalla de la compuerta, además del dimensionamiento y selección del perfil estructural a usar para los refuerzos de la compuerta.

Finalmente, las reacciones encontradas en las bisagras permitieron el cálculo del diámetro mínimo necesario sobre el pin de la compuerta, para realizar dicho calculo se tomó como referencia un pin de una pulgada de diámetro, con lo que se encontró que el pin era capaz de resistir las fuerzas presentes con un factor de confianza de 3.

3.4.2 Distribución de esfuerzos sobre la compuerta

A través de simulaciones FEA se determinó la deformación máxima producida por la presión del agua en la pantalla de la compuerta, resultando 9.56 mm para la compuerta superior y 29.2 mm para la compuerta inferior (Observar **Figura 3.5** y **Figura 3.6**). Pero al colocar los refuerzos la deformación logra reducirse a 0.3 mm para la compuerta superior y 0.8 mm para la inferior (Observar **Figura 3.7** y **Figura 3.8**). Se detallan los valores de deformación total, esfuerzo equivalente y factor de seguridad para las compuertas superior e inferior con refuerzos en la Tabla 3.5. Además, en el Apéndice E se ubican los resultados de las simulaciones, en el que se visualizan el desplazamiento, el esfuerzo equivalente y el factor de seguridad para las compuertas.

Tabla 3.5 Resultados de la simulación para las compuertas superior e inferior.

		Compuerta superior	Compuerta inferior
Deformación total	Máximo	0.38 mm	0.85 mm
	Mínimo	0.00 mm	0.00 mm
Esfuerzo equivalente	Máximo	52.32 MPa	117.26 MPa
	Mínimo	0.03 MPa	0.08 MPa
Factor de seguridad	Máximo	15.00	15.00
	Mínimo	5.00	2.00

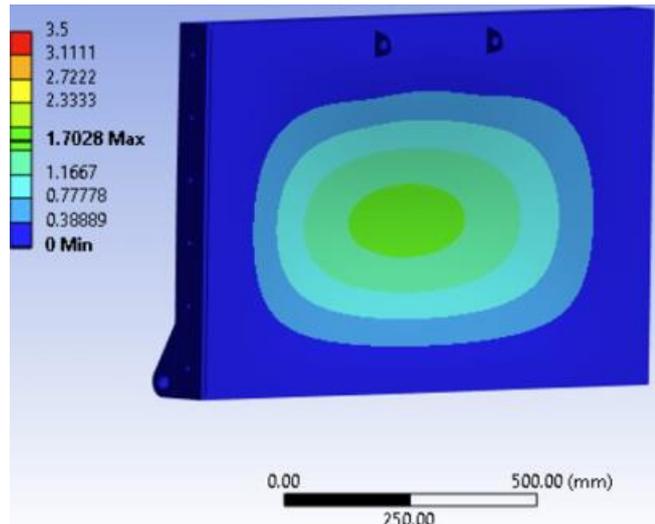


Figura 3.5 Desplazamientos en compuerta superior sin refuerzos (vista frontal). Las flechas que entran hacia la pantalla de la compuerta simulan la presión hidrostática ejercida sobre la misma. La barra de colores ubicada en la parte derecha de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

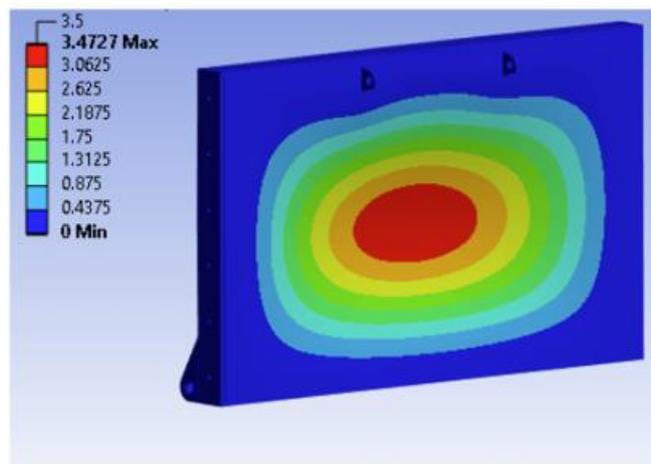


Figura 3.6 Desplazamientos en compuerta inferior sin refuerzos. (vista frontal). Las flechas que entran hacia la pantalla de la compuerta simulan la presión hidrostática ejercida sobre la misma. La barra de colores ubicada en la parte derecha de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

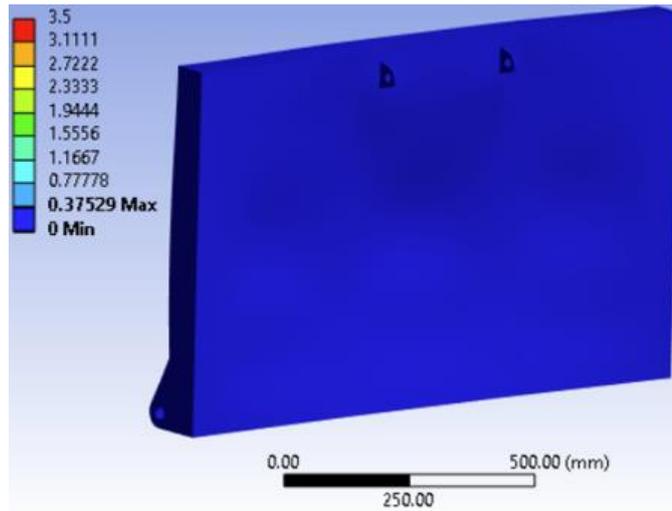


Figura 3.7 Desplazamientos en la compuerta superior con refuerzos. (vista frontal). Las flechas que entran hacia la pantalla de la compuerta simulan la presión hidrostática ejercida sobre la misma. La barra de colores ubicada en la parte derecha de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

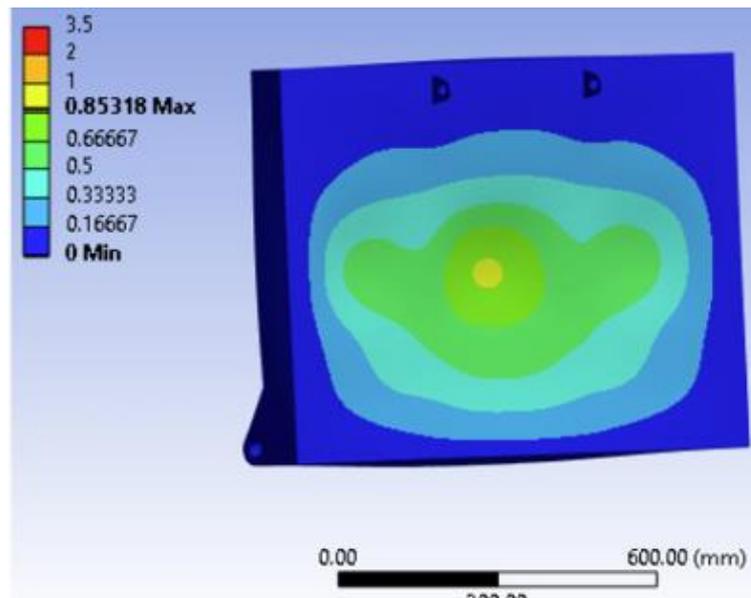


Figura 3.8 Desplazamientos en la compuerta inferior con refuerzos (vista frontal). Las flechas que entran hacia la pantalla de la compuerta simulan la presión hidrostática ejercida sobre la misma. La barra de colores ubicada en la parte derecha de la figura indica cómo varía el desplazamiento,

representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

3.5 Análisis de elementos finitos de elementos críticos

En la Tabla 3.6 se pueden visualizar los resultados de las simulaciones para los diferentes elementos que conforman el sistema, en los que se detallan sus deformaciones, esfuerzos y factor de seguridad máximos y mínimos (ver también Apéndice E. A detalle se observan estos resultados en: **Figura 3.9**, **Figura 3.10**, **Figura 3.11**, **Figura 3.12**, **Figura 3.13**.

Tabla 3.6 Resultados de la simulación para los elementos críticos del sistema.

		Caballote de polea	Soporte para poleas	Soporte superior de la estructura	Eje de botella	Tambor
Deformación total	Máximo	0.07 mm	0.63 mm	1.42 mm	0.05 mm	0.38 mm
	Mínimo	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Esfuerzo equivalente	Máximo	183 MPa	127 MPa	333 MPa	415 MPa	310 MPa
	Mínimo	0 MPa	0 MPa	0 MPa	0.14 MPa	0.03MPa
Factor de seguridad	Máximo	15	15	15	15	15
	Mínimo	2	2	3	5	4

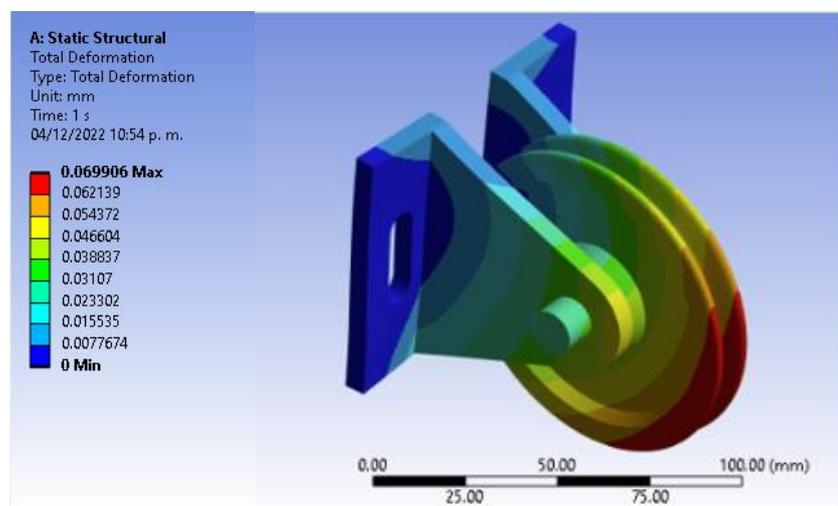


Figura 3.9 Resultados de Desplazamientos para el elemento caballote de polea. La barra de colores ubicada en la parte derecha de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un

desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

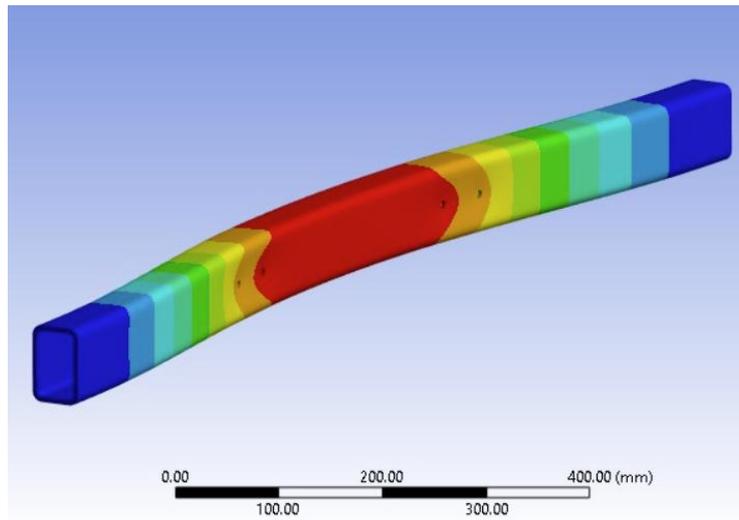


Figura 3.10 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento soporte para poleas. La barra de colores ubicada en la parte izquierda de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

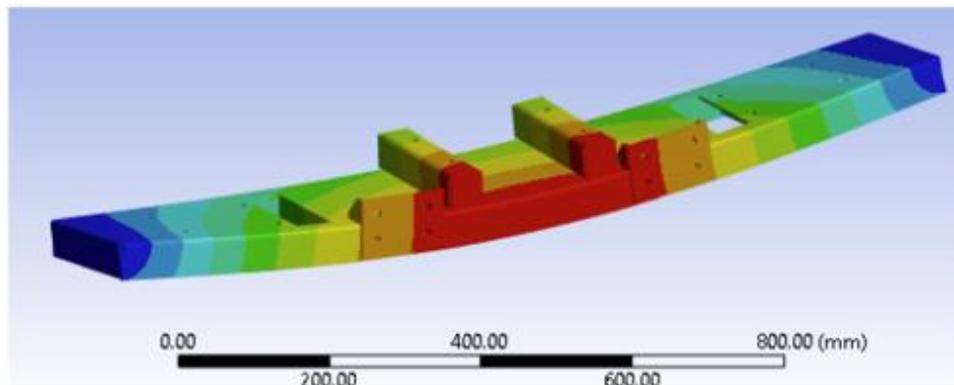


Figura 3.11 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento soporte superior de la estructura. La barra de colores ubicada en la parte izquierda de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

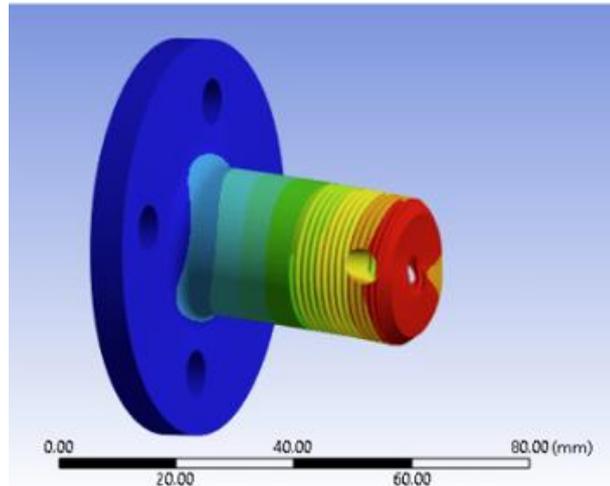


Figura 3.12 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento eje de botella. La barra de colores ubicada en la parte izquierda de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

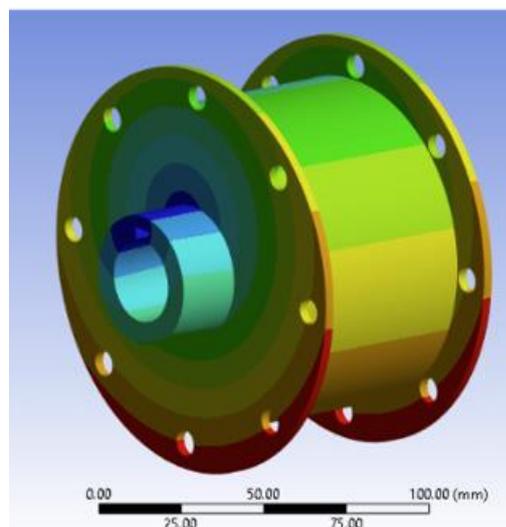


Figura 3.13 Resultados de la deformación elástica equivalente para el elemento tambor para cables. La barra de colores ubicada en la parte izquierda de la figura indica cómo varía el desplazamiento, representando el color azul un desplazamiento mínimo y el color rojo un desplazamiento máximo en milímetros.

3.6 Análisis de resultados general

El diseño final de la compuerta hidráulica para piscinas camaroneras está constituido por un sistema de compuertas tipo vertedero que realizan una apertura

angular trasladándose de una posición vertical de noventa grados hasta una posición horizontal de cero grados. El accionamiento de las compuertas es a través de un control secuencial en el que cada compuerta actúa de manera independiente, con la ayuda de un mecanismo de transmisión conformado por dos motorreductores, cables y poleas. Gran parte de las decisiones de diseño se basan en mejorar la operación y en establecer un sistema que asegure la calidad del camarón que será extraído de las piscinas camaroneras.

En lo que a bondades del diseño respecta se debe destacar la simplicidad de la realización del diseño, se trabajó especialmente en limitar la cantidad de elementos que deben ser montados y que estos sean comerciales para facilitar su manufactura, en el caso de elementos que deben ser mecanizados, se pensó primero en su fiabilidad y su simpleza, reduciendo tiempos y costos de manufactura, así mismo con la ayuda de herramientas de diseño y análisis de elementos finitos se optimizó el espesor del material usado, siempre siendo conservador y guardando un factor de confianza pertinente. Gran parte de las ventajas en el diseño se obtienen del mecanismo de apertura de la compuerta y de la configuración de dos compuertas en serie en la misma columna, este diseño nos da mucha mayor libertad en la operación y centraliza los mecanismos principales en la parte superior de las compuertas, sin embargo, a pesar de que el mecanismo de apertura se puede tratar de una ventaja con respecto a su manufactura y mantenimiento, también se puede ver como una desventaja si se llegan a presentar condiciones extremas como el que algún objeto ajeno a la piscina quede enredado en los cables de la compuerta.

Si bien es cierto, el trabajo brinda una solución satisfactoria para la mayoría de los requisitos planteados, este diseño queda categorizado para la aplicación específica para la que fue diseñado, esto debido al sistema de accionamiento de las compuertas que requiere de forma necesaria que no exista una contrapresión de agua del lado opuesto a la apertura de ésta. Siendo lo anterior la mayor limitante, la utilización de este mecanismo de actuación no es estrictamente necesario, por lo que puede ser reemplazado por el de mayor conveniencia para una aplicación distinta.

En etapas tempranas del diseño se consideraron otros mecanismos para el accionamiento de las compuertas. Con fines ilustrativos, es importante mencionar que el mecanismo que se encuentra en el Apéndice F permite la conmutación del eje al que se transmite la potencia, de manera que el accionamiento de las compuertas se logrará con un solo motor, el diseño se inspiró en los mecanismos de acoplamiento de motores de arranque modernos y en diseños de ejes de transmisión, no obstante, el costo de este mecanismo era mucho mayor que el uso de dos motores de las características requeridas para el diseño, además que requiere una mayor frecuencia de mantenimientos y un encapsulamiento inundado de aceite para alargar la vida útil y protegerlo de la inclemencia del ambiente de trabajo, por tales motivos se optó por la opción mostrada en el presente trabajo.

Es importante mencionar que para aplicaciones que mueven un flujo de agua pequeño como por ejemplo el de un sistema de riego, se utilizan compuertas planas deslizantes verticales de accionamiento manual, como el proyecto de “Amaya Cueva, C. E. 2006. *Diseño y simulación de una compuerta plana deslizante para una empresa*”, que a pesar de ser una de las más prácticas, para la aplicación específica de este proyecto, el diseño propuesto toma ventaja no sólo porque cumple con los requerimientos de espacios establecidos para la ubicación de compuertas en piscinas camaroneras, sino también en el tipo de accionamiento que hoy en día buscan las empresas para automatizar sus procesos.

Este diseño fue inspirado en la compuerta “Flume Gate” de la empresa europea Regaber, utilizada también para sistemas de riego, sin embargo, a pesar de cumplir con el requisito de un sistema de transmisión automático, al tratarse de una sola compuerta no se puede implementar para este proyecto, ya que eso requiere contar con un espacio mayor de la estructura de hormigón en la que se ubica la compuerta. Sin embargo, la mayor ventaja que presenta este diseño y por el que fue escogido es porque el flujo de agua se traslada por la parte superior, es decir, donde existe menos presión hidrostática, lo que evita que el camarón al pasar por allí se estropee, asegurando su buen estado para la cosecha.

3.7 Análisis de costos

Para el presente proyecto se realizó el cálculo del costo de fabricación del diseño, considerando el costo de los materiales (ver Tabla 3.7), y los costos de corte, soldadura y maquinado (ver Tabla 3.8). El costo total de fabricación de la compuerta hidráulica es de 3430.94 USD, cabe recalcar que, si se le añade un valor adicional por honorarios debido al diseño, el precio de venta al público sería de 5000 USD. Adicional, en las tablas B.3 y B.4 se detalla el flujo de caja desde el año 0 hasta el año 5, en donde arroja un resultado de la tasa interna de retorno de 17% y un valor presente de 5458.60 USD, esto indica que al finalizar el año 5 se completa el pago del préstamo por valor de 30000 USD como capital y 7650 USD de intereses, resultado un total de 37650 USD, mediante el método de amortización alemana.

Tabla 3.7 Costos de materiales

	ITEM	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
COMPUERTA	1	Plancha acero A36 4mm	1.8	m2	62.2	112.07
	2	Sello de neopreno	4.2	m	5.9	24.8
	3	Ángulo acero A36 2.5x2x3/16	7.8	m	5	39
	4	Pin acero inox 304	0.16	m	128	20.5
	5	Brida pin acero inox 304	4	u	71.6	286.4
	6	Viga UPN 80	7.8	m	20	156
ESTRUCTURA METÁLICA	1	Plancha acero A36 4mm	0.7	m2	62.2	43.55
	2	Plancha acero A36 6mm	1.3	m2	67.7	88.6
	3	Ángulo acero A36 1.5x1x1/8	1.5	m	2.4	3.65
	4	Ángulo acero A36 1.5x1.5x1/8	2.8	m	2.7	7.64
	5	Tubo cuadrado 2x2	0.04	m	5.8	0.23

	6	Tubo rectangular Acero A36	1.3	m	11.55	27.72
MECANISMO DE TRANSMISIÓN	1	Motorreductor	2	u	650	1300
	2	Catalina	4	u	25	100
	3	Cadena	1.15	m	17	19.55
	4	Chumacera	4	u	30	120
	5	Eje acero inox 304	2	u	208.9	417.8
	6	Polea	6	u	40	240
	7	Cable acero inox 304	6.22	m	6.22	35.7
					TOTAL	3007.5

Tabla 3.8 Costos de manufactura

CORTE Y SOLDADURA							
	ITEM	CANTIDAD	HIDROCORTE	COSTO POR METRO	SOLDADURA	COSTO POR METRO	COSTO TOTAL
COMPUERTA	Pantalla de compuerta	2	3.83	\$ 2.50	3.83	\$ 3.50	\$ 45.96
	Refuerzos de compuerta	2	0.50	\$ 2.50	5.00	\$ 3.50	\$ 37.50
	Marco de compuertas	2	0.32	\$ 2.50	0.32	\$ 3.50	\$ 3.84
	Orejas de compuertas	4	0.24	\$ 2.50	0.10	\$ 3.50	\$ 3.80
	Bisagra de compuerta	4	0.47	\$ 2.50	0.30	\$ 3.50	\$ 8.90
	Placa para sello de compuerta	2	2.50	\$ 2.50	0.00	\$ 3.50	\$ 12.50
ESTRUCTURA METALICA	Plancha de soporte superior	1	6.00	\$ 2.50	10.00	\$ 3.50	\$ 50.00
	Plancha de sello de fondo	1	4.80	\$ 2.50	0.80	\$ 3.50	\$ 14.80
	Placas laterales de soporte	2	4.35	\$ 2.50	2.00	\$ 3.50	\$ 35.75
MECANISMO DE TRANSMISION	Soportes de polea	12	0.83	\$ 2.50	0.08	\$ 3.50	\$ 28.14
	Tambores	4	3.62	\$ 2.50	1.25	\$ 3.50	\$ 53.75
	Soporte de motor	2	1.92	\$ 2.50	0.80	\$ 3.50	\$ 15.20
	Tubo rectangular	2	0.80	\$ 2.50	0.00	\$ 3.50	\$ 4.00

	Tubo cuadrado	2	0.50	\$ 2.50	0.00	\$ 3.50	\$ 2.50
TORNEADO Y SOLDADURA							
	ITEM	CANTIDAD	TORNEADO	COSTO POR UNIDAD	SOLDADURA	COSTO POR METRO	COSTO TOTAL
MECANISMO DE TRANSMISION	Eje de botella	4	0.06	\$40.00	0.20	\$ 3.50	\$ 12.40
	Eje de poleas superiores	1	0.62	\$60.00	0.00	\$ 3.50	\$ 37.20
	Eje de poleas inferiores	1	0.62	\$60.00	0.00	\$ 3.50	\$ 37.20
	Ejes de motores	2	0.20	\$50.00	0.00	\$ 3.50	\$ 20.00
						TOTAL	\$ 423.44

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se logró diseñar una compuerta hidráulica tipo vertedero de acuerdo a la norma NBR 8883. Consta de una compuerta superior y otra inferior que tienen una plancha de 4 mm de espesor de acero estructural ASTM A36 y un mecanismo de transmisión de cables y poleas que se seleccionaron de acuerdo con la norma DIN 4130.
- El diseño de las compuertas permite el control de nivel de agua de piscinas camaroneras sin la necesidad de realizar modificaciones en la infraestructura de hormigón comúnmente usada en las piscinas camaroneras ecuatorianas, definiendo su tamaño en concordancia a las restricciones de esta infraestructura de canales de entrada y salida de agua, además se valoró principalmente la profundidad y ancho más comunes, de manera que se puedan adaptar a las piscinas camaroneras.
- Se evaluaron varios tipos de compuertas y se determinó que el modelo más idóneo es la compuerta vertedero, la cual presenta mayores ventajas con respecto a otros diseños en aspectos como el cuidado del camarón, el control intuitivo del nivel de la piscina, la simpleza del mecanismo, el volumen requerido para su instalación y su fácil mantenimiento.
- Se logró validar que los elementos críticos del sistema fueron correctamente dimensionados y seleccionados mediante una simulación aplicando Análisis de Elementos Finitos.

4.2 Recomendaciones

- Si se desea realizar un diseño similar para piscinas de cría de otras especies, tener en cuenta que la altura de caída de la cascada puede afectar al animal dependiendo de su morfología

- Considerar el medio en el que se instalará la compuerta si se enfoca para otras aplicaciones, ya que se puede omitir el uso de acero inoxidable en algunas piezas y así reducir los costos de fabricación.
- Implementar la funcionalidad del sistema de manera manual, ya que así permitirá el accionamiento de las compuertas en caso de que el sector camaronero no cuente con energía eléctrica o cuando se requiera de mantenimiento a los motores.

BIBLIOGRAFÍA

- Amaya Cueva, C. E. (2006). *Diseño y simulación de una compuerta plana deslizante para una empresa*.
- Arkiplus. (2020). *arkiplus.com*. Obtenido de <https://www.arkiplus.com/compuertas-radiales-para-presas/>
- Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT NBR 8883 Segunda edición). (2008). *ABNT NBR 8883 Segunda edición*. Brasilia.
- Cámara Nacional de Acuicultura. (2022). *cna-ecuador.com*. Obtenido de <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- DIN 4130. (s.f.). *Cálculo y dimensionamiento de cables, poleas y tambores*.
- Echeverría Valero, G., & Bayot Arroyo, B. (2022). *Análisis técnico-económico para la implementación de un sistema de aireación en camarónicas con sistema de recirculación a baja salinidad*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53249>
- Estudiantes de la Universidad de la Costa. (2018). Obtenido de <http://hidraulica-cuc.blogspot.com/2018/11/compuertas-y-vertederos.html>
- Gonzabay, A. &. (Septiembre de 2021). Análisis de la producción de camarón en el Ecuador para su exportación a la Unión Europea en el período 2015-2020. *Polo del Conocimiento, Vol. 6(9)*.
- Hule México. (2022). *hulemexico.mx*. Obtenido de https://www.hulemexico.mx/sellos_compuertas.html
- IndiaMart. (enero de 2008). *indiamart.com*. Obtenido de <https://www.indiamart.com/proddetail/musical-note-type-rubber-seals-2524459088.html>
- Jaramillo, E. V. (2006). *Diseño de una compuerta hidráulica tipo segmento para un nivel máximo de aguas arriba de 2 metros y un nivel máximo de aguas abajos de 2.3 metros*. Guayaquil.
- Narayanan, P. N. (2007). *Estructuras Hidráulicas*. New York: Taylor & Francis.
- Probrisa. (2016). *Catálogo de cables de acero*.
- Quispe Arce, J. A., & Rojas Rojas, J. L. (1 de 1 de 2018). Diseño de una Compuerta Hidráulica tipo Clapeta para Regular el Nivel de Embalse para las Turbinas Streamdriver para la Central Hidroeléctrica HER 1 - Lima. *Diseño de una*

- Compuerta Hidráulica tipo Clapeta para Regular el Nivel de Embalse para las Turbinas Streamdriver para la Central Hidroeléctrica HER 1 - Lima.* Lima, Perú.
- Regaber. (s.f.). *regaber.com*. Obtenido de <https://regaber.com/producto/flumegate/>
- REMA. (2020). *Poleas de carga y poleas de cable*.
- Rodriguez Penagos, D. F., & Hernando Rojas, H. (2012). Diseño y Modelamiento de las Uniones Soldadas de las Compuertas Planas para Presas. *Diseño y Modelamiento de las Uniones Soldadas de las Compuertas Planas para Presas*. Bogota, Colombia.
- Romero Heredia, J. C., & Andrade Moreira, N. G. (3 de 9 de 2018). *Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil*. Recuperado el 20 de 01 de 2023, de Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/34446>
- SEPTAR. (2020). *Compuerta de canal*.
- SIEMENS. (2018). *Motorreductores MOTOX*.
- Skretting a Nutreco Company. (s.f.). *Guía de manejo de camarónicas*.
- Tacon, A. G. (s.f.). *fao.org*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/ab492s/AB492S00.htm>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Parámetros físico químicos de las piscinas camaroneras

PISCINA			
PARÁMETROS	MEDICIÓN	ÓPTIMO	OBSERVACIONES
Temperatura (°C)	05h00 y 16h00	26 - 30 °C	< 24 °C. No alimentar. > 32 °C. Revisar el consumo de alimento.
Oxígeno (mg/l)	05h00 y 16h00	> 4 mg/l	2.1 – 2.5 mg/l alimentar el 50 % de la dosis diaria y hacer un recambio de agua en la piscina de un 15 %. < 2 mg/l no alimenta. Se puede colocar peróxido de hidrógeno 50 %. La dosis va a depender de la concentración del producto. Hacer recambio del 20 al 30 % de agua de la piscina.
pH	05h00 y 16h00	6.7 - 8.5	> 6.5 aplicar carbonato de calcio. < 9 Verificar: - Concentración de algas - Turbidez - Alimentación - Recambio de agua
Alcalinidad (mg/l)	2 veces al mes	80 - 200 mg/l	< 60 mg/l aplicar carbonato > 200 mg/l recambio de agua y verificar concentración de algas.
NITRÓGENO			
PARÁMETROS	MEDICIÓN	ÓPTIMO	OBSERVACIONES
Amonio total (mg/l)	Semanal	< 1 mg/l	> 1 mg/l Verificar: - pH - Concentración de algas - Alimentación - Recambio de agua - Verificar concentración de Nitrito
Nitrito (mg/l)	Semanal	< 0.1 mg/l	> 0.1 mg/l Verificar: - Salinidad concentración de algas - Alimentación - Oxígeno disuelto - Recambio de agua

Figura A. 1 Acciones a realizar en función de los parámetros medidos (Skretting a Nutreco Company)

APÉNDICE B

Tablas de resultados

Tabla B. 1 Cuadro de comparación entre las compuertas según los aspectos que cumplen.

Aspectos/Tipos de compuertas	Compuerta Vertical	Compuerta Vertedero	Compuerta Radial
Salud Pública	X	✓	X
Seguridad y Bienestar	✓	✓	✓
Globales	X	✓	X
Culturales	✓	✓	✓
Sociales	✓	✓	✓
Ambientales	X	✓	X
Económicos	X	✓	X

Tabla B. 2 Resultados del torque, reacciones y tensión de la compuerta superior en base a la variación de su ángulo de apertura.

Ángulo	Torque	R _x	R _y	R _{total}	tensión
[°]	[Nm]	[N]	[N]	[N]	[N]
0	21.97	31.38	29.12	42.81	44.38
30	292.09	-418.50	621.27	749.08	470.40
45	503.16	-960.60	871.23	1296.84	755.18
60	714.43	-1506.53	1076.28	1851.49	1027.64
90	816.72	-2101.60	556.70	2174.08	1650.02

Tabla B. 3 Flujo de caja

ESTADO DE RESULTADOS	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas		100,000.00	110,000.00	120,000.00	180,000.00	240,000.00
Costo de ventas		-80,000.00	-88,000.00	-96,000.00	-144,000.00	-192,000.00
Utilidad bruta		20,000.00	22,000.00	24,000.00	36,000.00	48,000.00
Gastos operativos						
Sueldos y comisiones		-4,000.00	-4,000.00	-4,000.00	-4,000.00	-4,000.00
Renta		-400.00	-400.00	-400.00	-400.00	-400.00
Depreciación		-3,300.00	-3,300.00	-3,300.00	-3,300.00	-3,300.00
Total gastos operativos		-7,700.00	-7,700.00	-7,700.00	-7,700.00	-7,700.00
Utilidad operativa		12,300.00	14,300.00	16,300.00	28,300.00	40,300.00
Amortización de inversión		-8,550.00	-8,040.00	-7,530.00	-7,020.00	-6,510.00
Utilidad antes de Impuesto a la Renta		3,750.00	6,260.00	8,770.00	21,280.00	33,790.00
Menos 25% Impuesto a la Renta		-937.50	-1,565.00	-2,192.50	-5,320.00	-8,447.50
Utilidad neta	-30000	2,812.50	4,695.00	6,577.50	15,960.00	25,342.50
TIR		17%				
VAN		\$5,458.60				

Tabla B. 4 Tabla de amortización

Préstamo	30000	Método alemán		
Tasa de interés anual	0.085	Amortización = 6,000.00		
n	cuota	amortización	interés	capital
0				30,000.00
1	8550	6,000.00	2,550.00	24,000.00
2	8040	6,000.00	2,040.00	18,000.00
3	7530	6,000.00	1,530.00	12,000.00
4	7020	6,000.00	1,020.00	6,000.00
5	6510	6,000.00	510.00	-
total	37650	30,000.00	7,650.00	

APÉNDICE C

Coeficientes de la norma NBR 8883 y DIN 4130

Table 5.1 Coefficients for Allowable Stresses, Structural Elements.

Type of Stress	Load Case		
	Normal	Occasional	Exceptional
Tension and bending stress	0.68	0.76	0.89
Bending stress if a stability proof is required	0.59	0.68	0.79
Shear	0.39	0.44	0.51
Combined stress	0.76	0.82	0.92
Combined stress in the skin plate	0.87	0.87	0.92

Figura C. 1 Coeficientes para esfuerzos admisibles (Asociación Brasileña de Normas Técnicas, 2008)

Table 5.3 k-Coefficient (NBR-8883).

b/a	Unfixed mounting of the 4 edges (a)		Rigid fixing of the 4 edges (b)				Rigid fixing of 3 edges and unfixed mount of the fourth edge (c)				(d)			
	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{3x}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{3x}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{2y}$	$\pm\sigma_{3x}$
∞	75.0	22.5	25.0	7.5	34.2	50.0	37.5	11.3	47.2	75.0	25.0	7.5	34.2	50.0
3.00	71.3	24.4	25.0	7.5	34.3	50.0	37.4	12.0	47.1	74.0	25.0	7.6	34.2	50.0
2.50	67.7	25.8	25.0	8.0	34.3	50.0	36.6	13.3	47.0	73.2	25.0	8.0	34.2	50.0
2.00	61.0	27.8	24.7	9.5	34.3	49.9	33.8	15.5	47.0	68.3	25.0	9.0	34.2	50.0
1.75	55.8	28.9	23.9	10.8	34.3	48.4	30.8	16.5	46.5	63.2	24.6	10.1	34.1	48.9
1.50	48.7	29.9	22.1	12.2	34.3	45.5	27.1	18.1	45.5	56.5	23.2	11.4	34.1	47.3
1.25	39.6	30.1	18.8	13.5	33.9	40.3	21.4	18.4	42.5	47.2	20.8	12.9	34.1	44.8
1.00	28.7	28.7	13.7	13.7	30.9	30.9	14.4	16.6	36.0	32.8	16.6	14.2	32.8	36.0

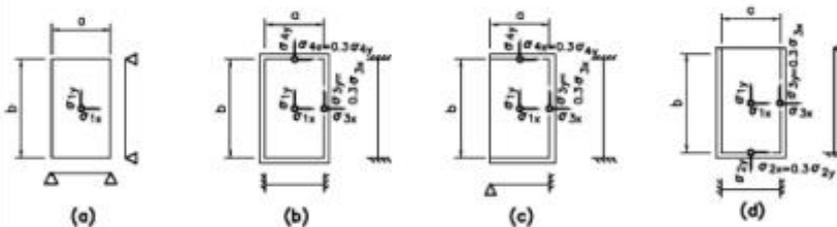


Table 5.4 α -Coefficient (Timoshenko).

b/a	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	∞
α	0.0138	0.0188	0.0226	0.0251	0.0267	0.0277	0.0284

Figura C. 2 Coeficientes k para esfuerzos en elementos tipo plancha (Asociación Brasileña de Normas Técnicas, 2008)

Coeficientes c y k en función del Grupo de elevación. Tabla 5.6.1-5 DIN 4130

Grupo	Cable		Tambor	Polea	Polea de compensación
	Valores de v para 160 Kg./mm ²	k	c	c	c
		Para cables de 160 y 180 Kg./mm ²			
I	5,5 a 6	0,30 a 0,32	5 a 6	5,5 a 7	4,5 a 5
II	5,5 a 6	0,30 a 0,32	6 a 7	7 a 8	4,5 a 5
III	6 a 7	0,32 a 0,34	7 a 8	8 a 10	5 a 6
IV	7 a 8	0,34 a 0,37	8 a 9	9 a 12	6 a 7,5
V	8 a 9,5	0,37 a 0,4	8 a 9	9 a 12	6 a 7,5

Figura C. 3 Coeficientes para cables, poleas y tambores según el grupo de elevación (DIN 4130)

APÉNDICE D

Catálogos para selección de elementos del sistema de transmisión



CABLE ACERO INOXIDABLE AISI 304, CONSTRUCCION 6X19S+IWRC

Código Artículo	Diámetro (mm)	Peso x 100 mts. en kgs (aprox.)	Carga mínima de rotura (kgs)
CIN-6X19AAI0006	6	14.8	2,090
CIN-6X19AAI0008	8	26.2	4,100
CIN-6X19AAI0010	10	42.0	6,425
CIN-6X19AAI0012	12	60.5	9,250
CIN-6X19AAI0016	16	108.0	16,450
CIN-6X19AAI0019	19	152.0	23,200
CIN-6X19AAI1250	32	430.0	65,800

Figura D. 1 Cables de acero inoxidable AISI 304 (Probrisa, 2016)

Modelo	Capacidad (kg)	Diámetro cable (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	Peso (kg)	Código
RZ-0.5	500	5 - 6	150	125	46	22	22	40	2.3	3063001
RZ-1.0	1000	8 - 10	235	200	78	40	32	50	6.0	3063003
RZ-2.0	2000	12 - 14	325	280	108	60	41	70	16.0	3063005
RZ-3.0	3000	16 - 18	400	340	110	70	51	87	27.0	3063007
RZ-5.0	5000	20 - 22	475	410	115	75	55	92	39.0	3063009



Polea, con soporte, RBZ

Polea de acero con soporte para transmisión automática y manual

Características:

- Adecuadas para transmisión mecánica y manual.
- Sin mantenimiento.
- Soporte de acero.
- Rodamientos lubricados.

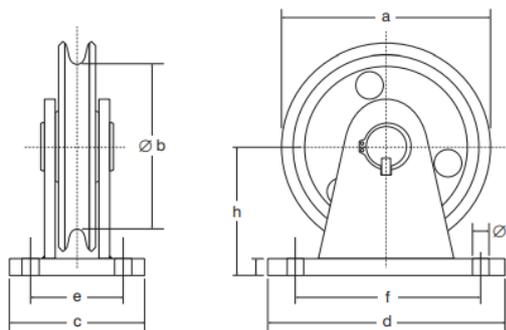


Figura D. 2 Poleas con soporte RBZ (REMA, 2020)

Potencia P_{motor} kW	Velocidad de salida		Par de salida T_2 Nm	Factor de servicio f_s	Índice de reducción i_{tot}	Referencia	Código (n.º polos)	Peso ^{*)} kg
	n_2 (50 Hz) min ⁻¹	n_2 (60 Hz) min ⁻¹						
0,37 (50 Hz) 0,44 (60 Hz)	K.68-LA80S6							
	3,8	4,6	936	0,88	243,72	2KJ1504 - ■DB13 - ■■N2	P01	48
	4,3	5,2	828	0,99	215,68	★ 2KJ1504 - ■DB13 - ■■M2	P01	48
	4,7	5,6	753	1,1	196,07	2KJ1504 - ■DB13 - ■■L2	P01	48
	5,2	6,2	677	1,2	176,14	★ 2KJ1504 - ■DB13 - ■■K2	P01	48
	K.68-LA71M4							
	5,6	6,7	629	1,3	243,72	2KJ1504 - ■CE13 - ■■N2		44
	6,4	7,7	556	1,5	215,68	★ 2KJ1504 - ■CE13 - ■■M2		44
	7,0	8,4	506	1,6	196,07	2KJ1504 - ■CE13 - ■■L2		44
	7,8	9,4	454	1,8	176,14	★ 2KJ1504 - ■CE13 - ■■K2		44
	9,1	10,9	389	2,1	150,98	2KJ1504 - ■CE13 - ■■J2		44
	K.48-LA80S6							
	7,0	8,4	502	0,90	130,78	★ 2KJ1503 - ■DB13 - ■■G2	P01	29
	7,5	9,0	469	0,96	122,19	2KJ1503 - ■DB13 - ■■F2	P01	29
	K.48-LA71M4							
	8,1	9,7	437	1,0	169,53	★ 2KJ1503 - ■CE13 - ■■J2		25
	9,1	10,9	389	1,2	150,76	2KJ1503 - ■CE13 - ■■H2		25
	10,5	12,6	337	1,3	130,78	★ 2KJ1503 - ■CE13 - ■■G2		25
	11,2	13,4	315	1,4	122,19	2KJ1503 - ■CE13 - ■■F2		25

Figura D. 3 Modelo y especificaciones del motor seleccionado
(SIEMENS, 2018)

APÉNDICE E

Simulaciones en ANSYS

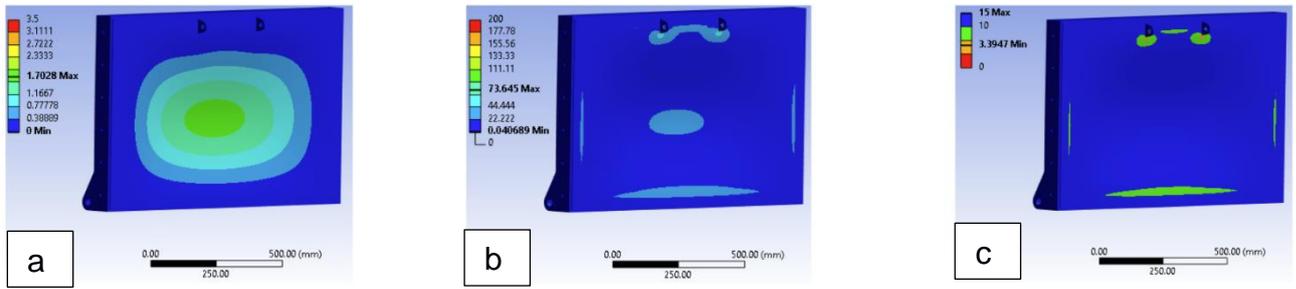


Figura E. 1 Resultados de las simulaciones en compuerta superior sin refuerzos a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

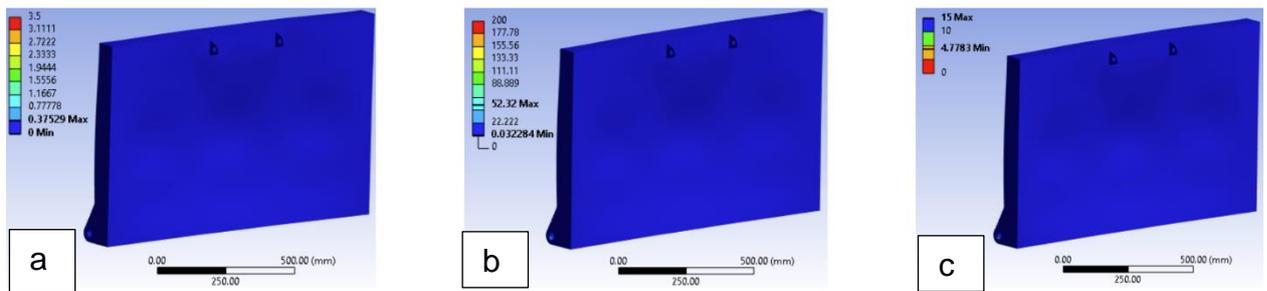


Figura E. 3 Resultados de las simulaciones en compuerta superior con refuerzos a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

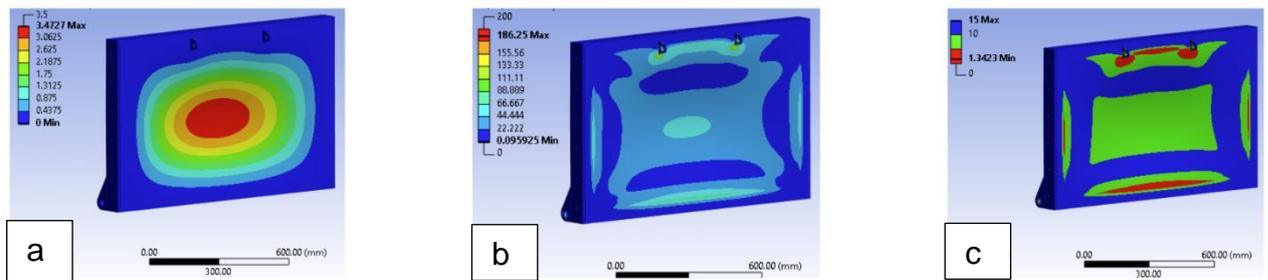


Figura E. 2 Resultados de las simulaciones en compuerta inferior sin refuerzos a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

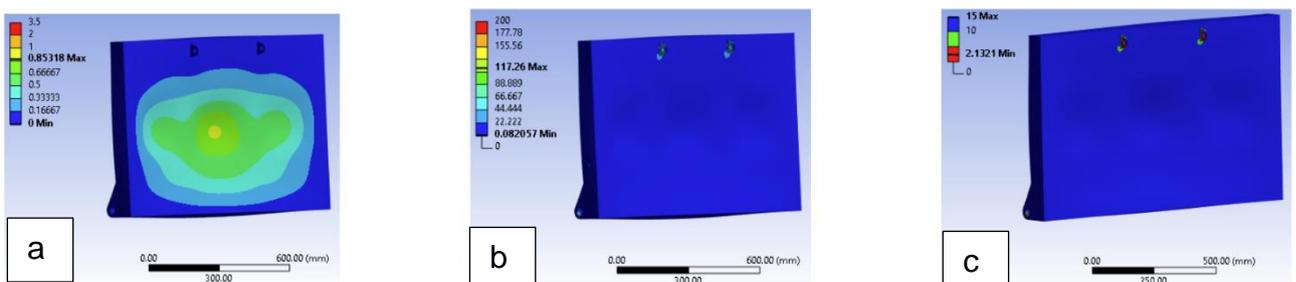


Figura E. 4 Resultados de las simulaciones en compuerta inferior con refuerzos a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

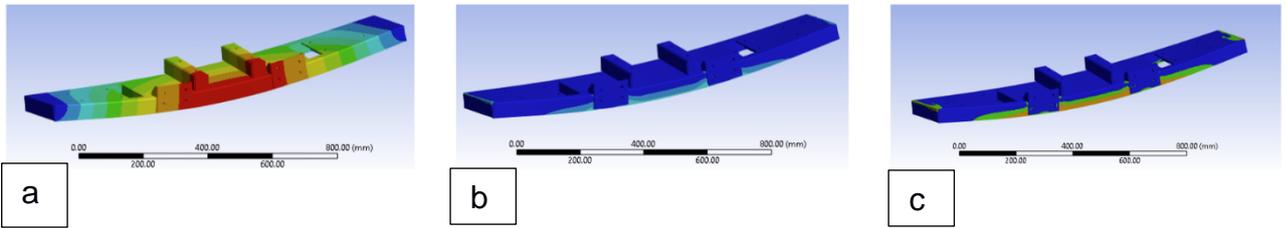


Figura E. 5 Resultados de las simulaciones en soporte superior a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

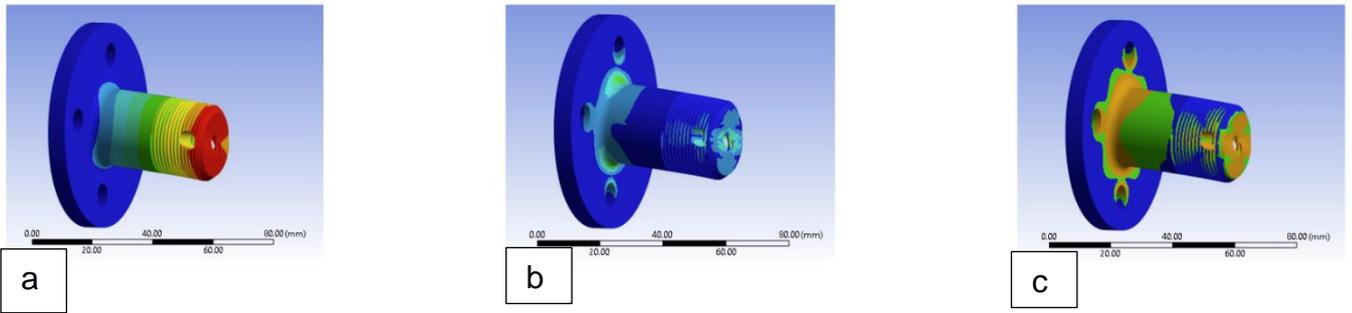


Figura E. 6 Resultados de las simulaciones en eje de botella a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

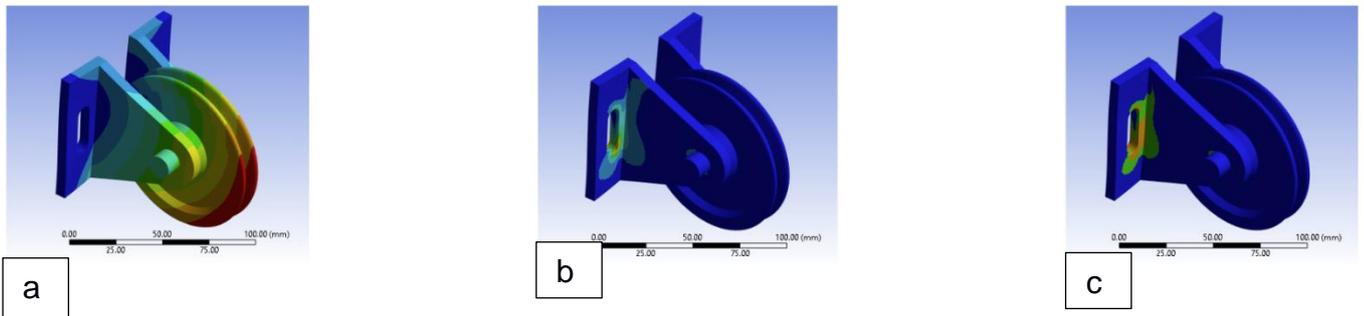


Figura E. 7 Resultados de las simulaciones en caballete de polea a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

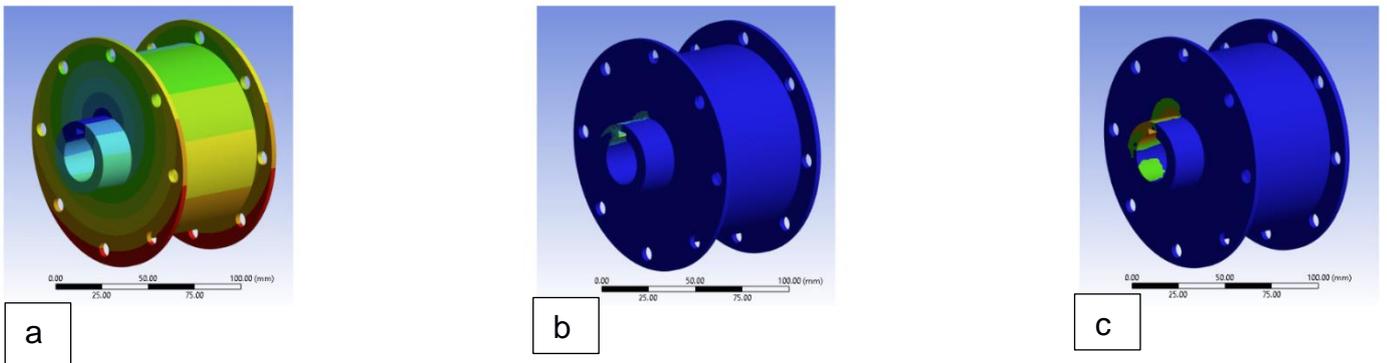


Figura E. 8 Resultados de las simulaciones en tambor a) deformación, b) esfuerzo equivalente, c) factor de seguridad

APÉNDICE F

Diseño de alternativa de solución para el mecanismo de transmisión

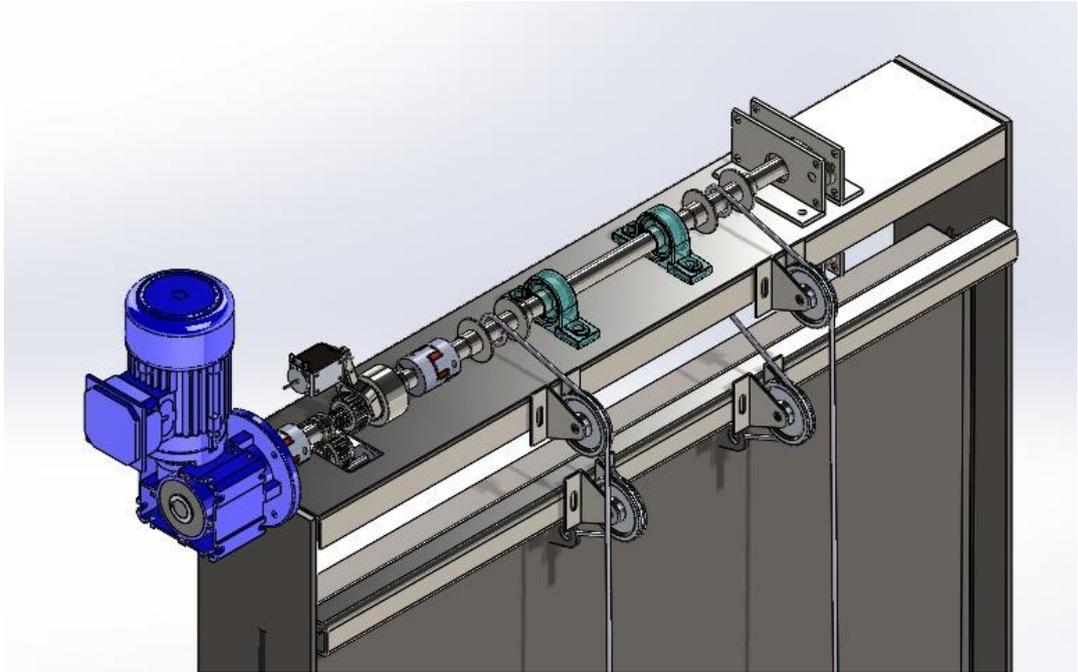


Figura F. 1 Vista 3D del mecanismo de transmisión con engranajes.

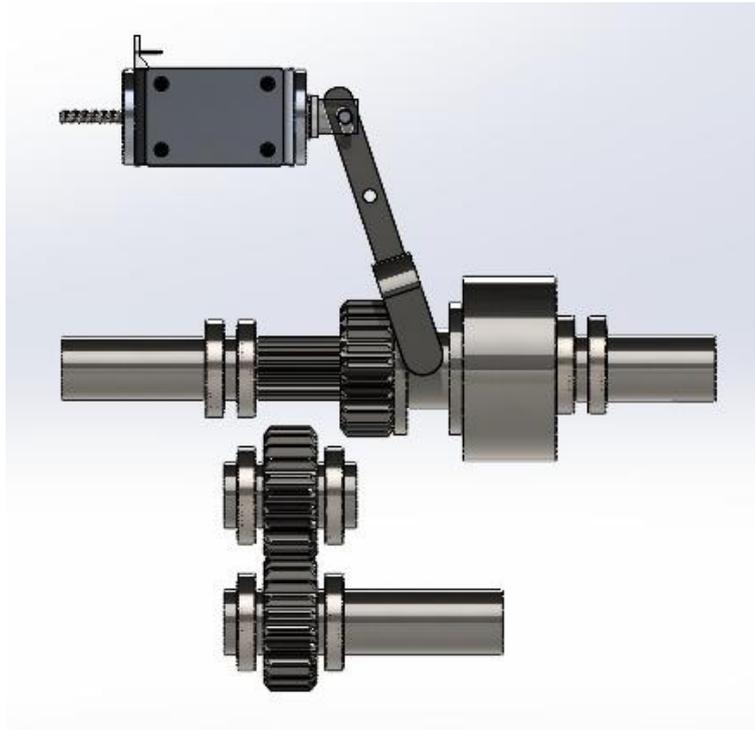
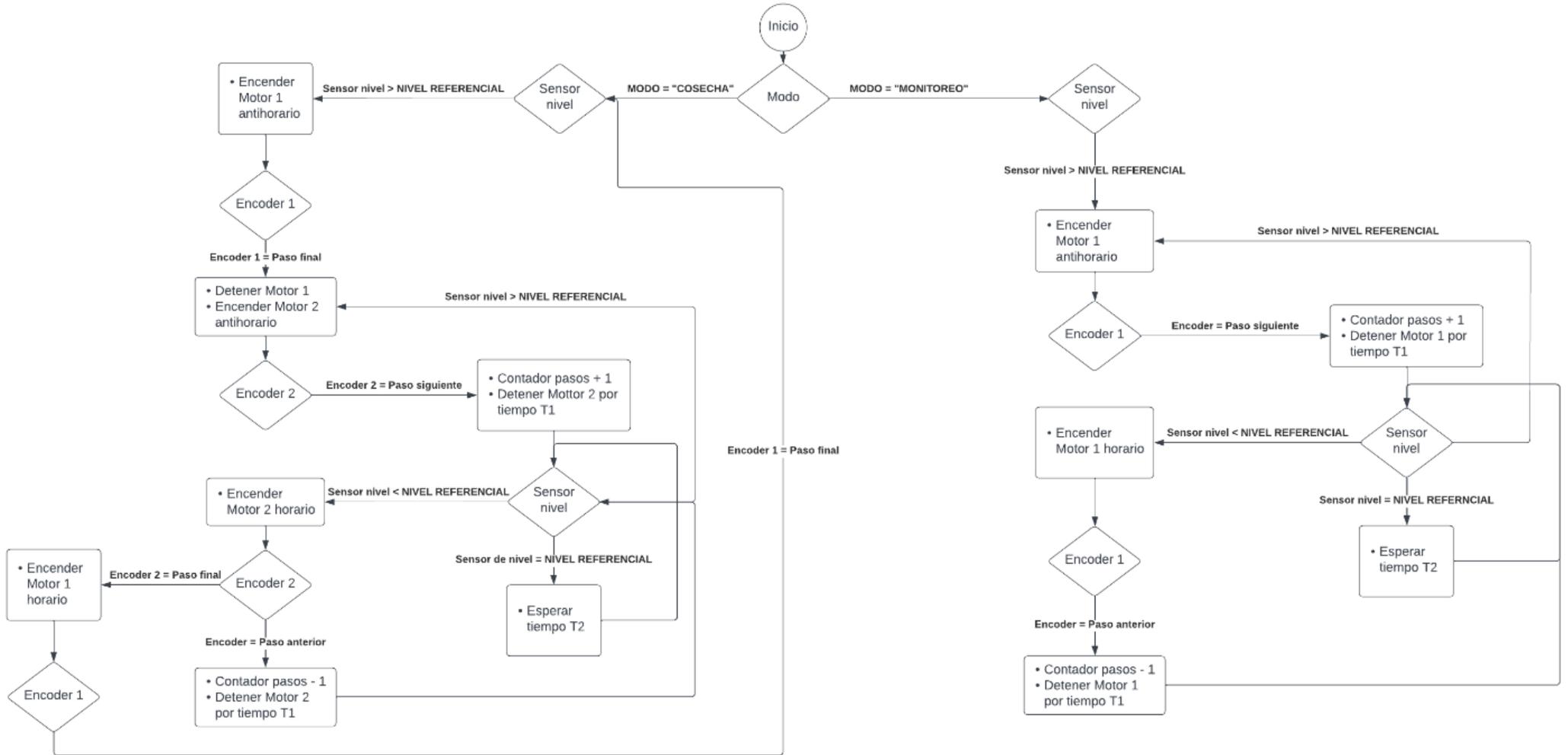


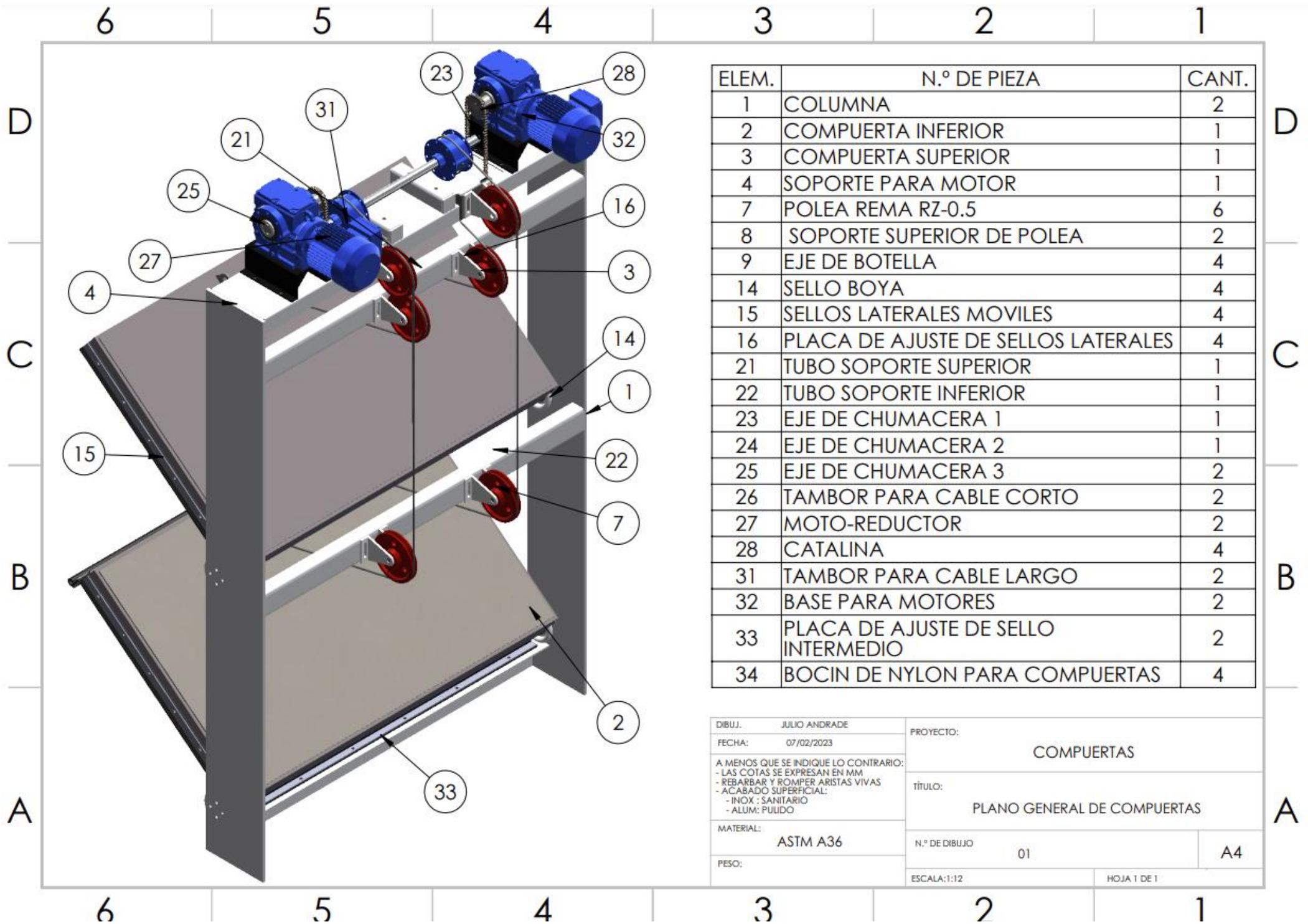
Figura F. 2 Vista 3D a detalle del mecanismo de transmisión de engranajes.

APÉNDICE G

Diagrama de bloques del sistema de control principal

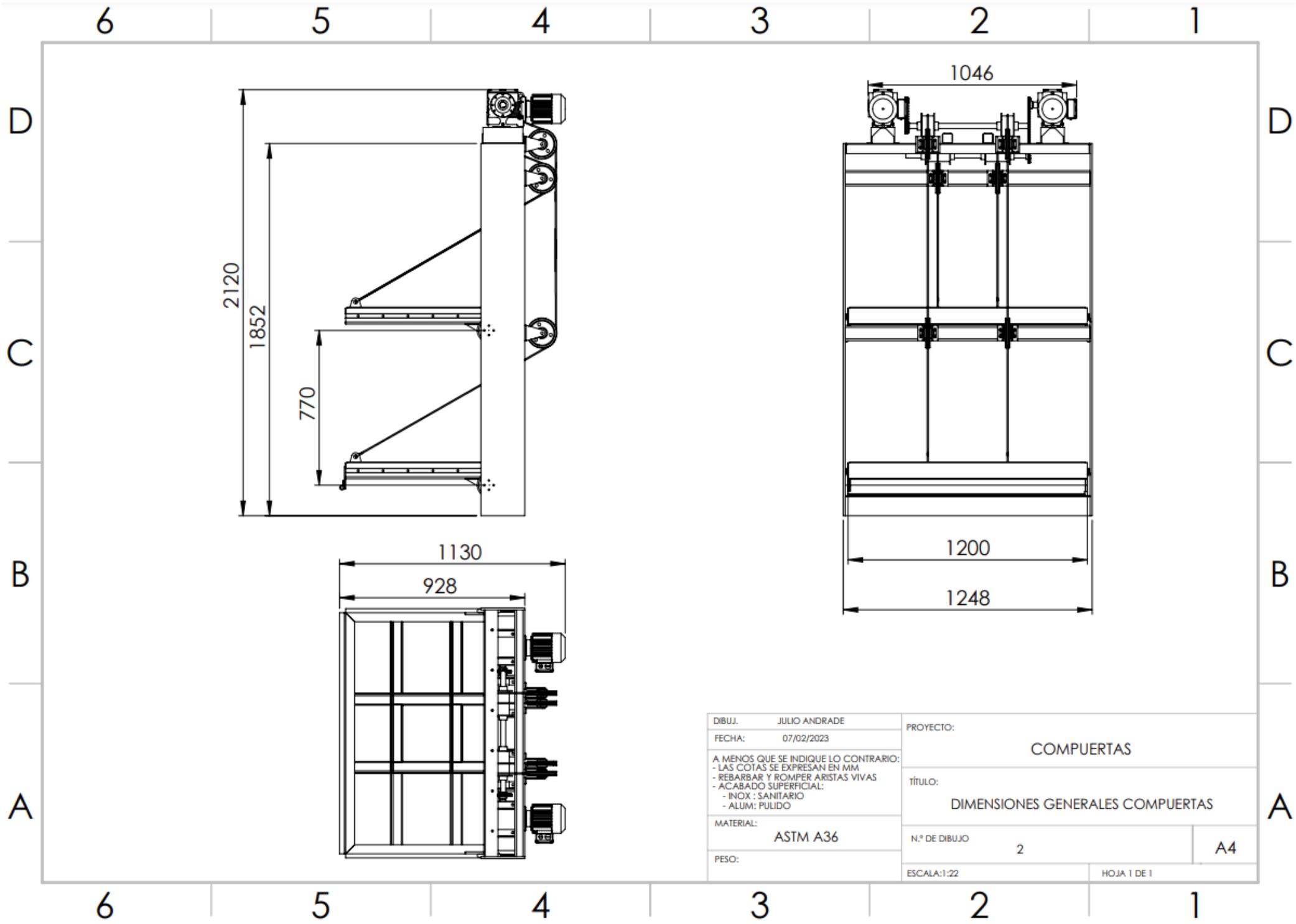


APÉNDICE E
Planos Técnicos del Proyecto

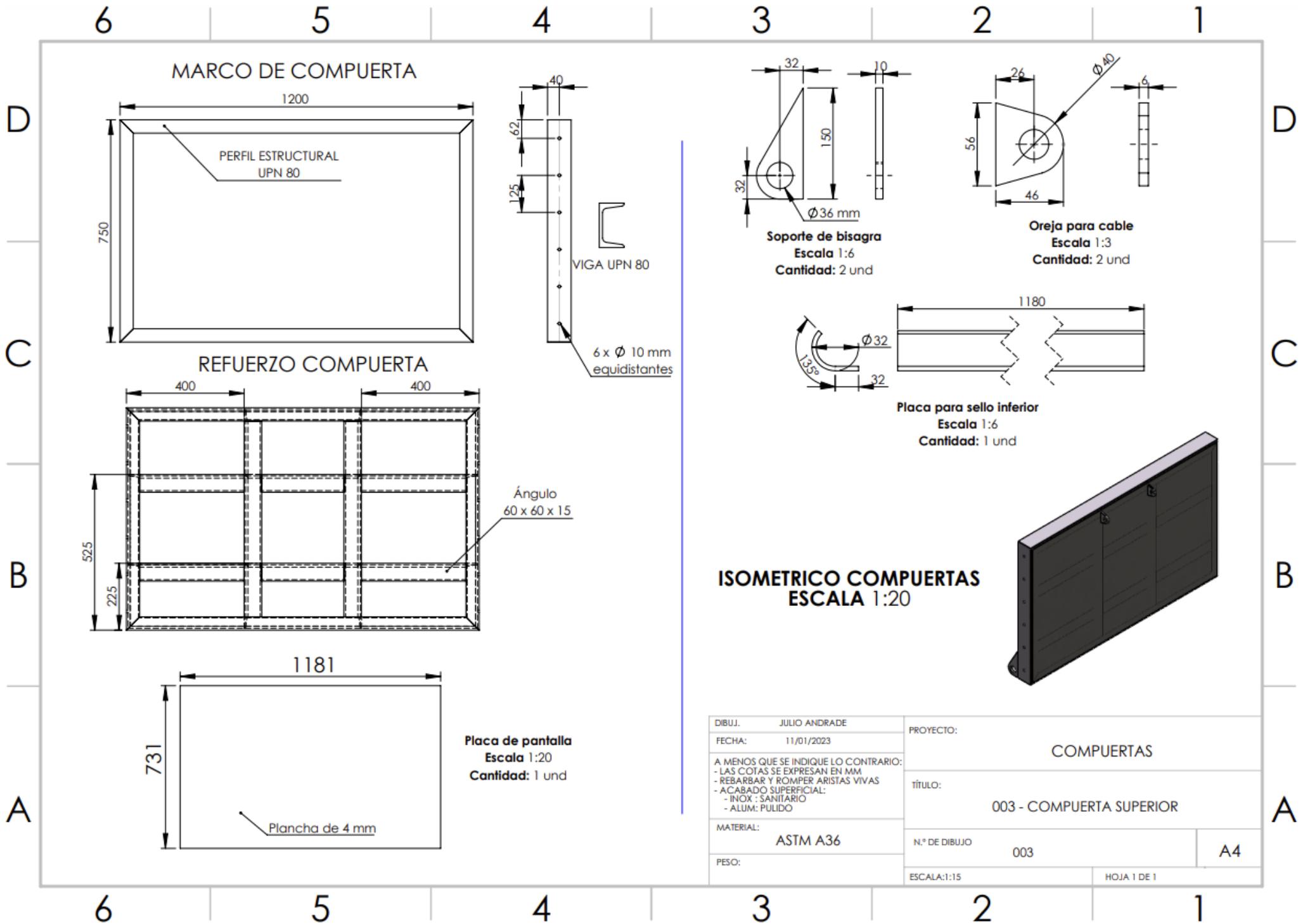


ELEM.	N.º DE PIEZA	CANT.
1	COLUMNA	2
2	COMPUERTA INFERIOR	1
3	COMPUERTA SUPERIOR	1
4	SOPORTE PARA MOTOR	1
7	POLEA REMA RZ-0.5	6
8	SOPORTE SUPERIOR DE POLEA	2
9	EJE DE BOTELLA	4
14	SELLO BOYA	4
15	SELLOS LATERALES MOVILES	4
16	PLACA DE AJUSTE DE SELLOS LATERALES	4
21	TUBO SOPORTE SUPERIOR	1
22	TUBO SOPORTE INFERIOR	1
23	EJE DE CHUMACERA 1	1
24	EJE DE CHUMACERA 2	1
25	EJE DE CHUMACERA 3	2
26	TAMBOR PARA CABLE CORTO	2
27	MOTO-REDUCTOR	2
28	CATALINA	4
31	TAMBOR PARA CABLE LARGO	2
32	BASE PARA MOTORES	2
33	PLACA DE AJUSTE DE SELLO INTERMEDIO	2
34	BOCIN DE NYLON PARA COMPUERTAS	4

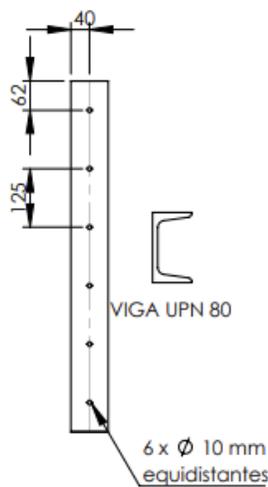
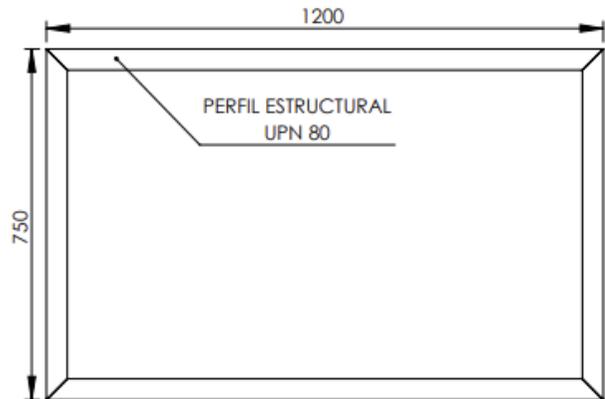
DIBUJ.	JULIO ANDRADE	PROYECTO:	COMPUERTAS	
FECHA:	07/02/2023	TÍTULO:	PLANO GENERAL DE COMPUERTAS	
A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - REBARBAR Y RÓMPER ARISTAS VIVAS - ACABADO SUPERFICIAL: - INOX : SANITARIO - ALUM: PULIDO		N.º DE DIBUJO	01	A4
MATERIAL:	ASTM A36	ESCALA: 1:12	HOJA 1 DE 1	
PESO:				



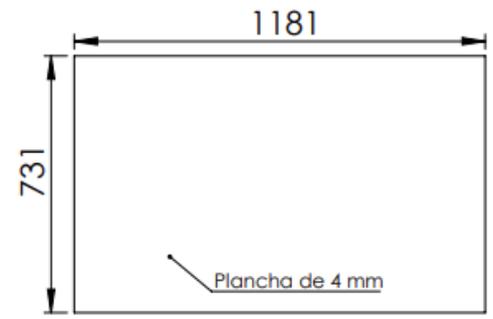
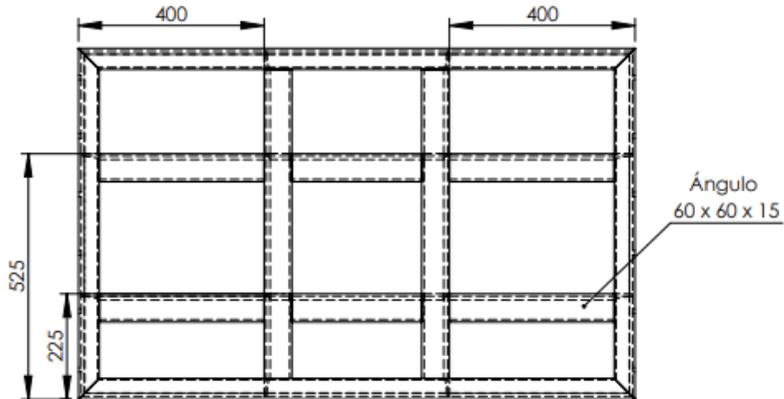
DIBUJ.	JULIO ANDRADE	PROYECTO:	
FECHA:	07/02/2023	COMPUERTAS	
A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS - ACABADO SUPERFICIAL: - INOX : SANITARIO - ALUM: PULIDO		TÍTULO:	
MATERIAL:	ASTM A36	DIMENSIONES GENERALES COMPUERTAS	
PESO:		N.º DE DIBUJO	A4
		2	
		ESCALA: 1:22	HOJA 1 DE 1



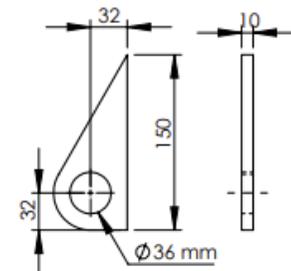
MARCO DE COMPUERTA



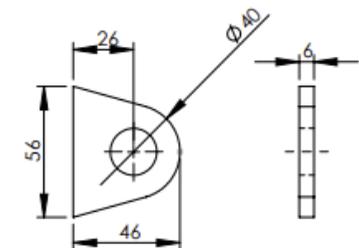
REFUERZO COMPUERTA



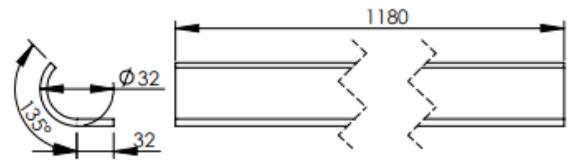
Placa de pantalla
Escala 1:20
Cantidad: 1 und



Soporte de bisagra
Escala 1:6
Cantidad: 2 und

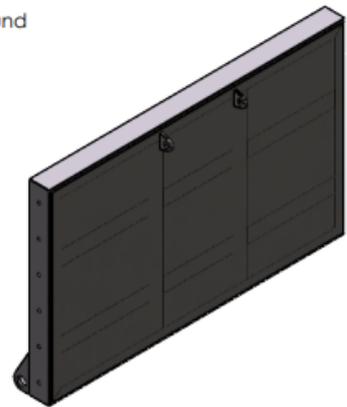


Oreja para cable
Escala 1:3
Cantidad: 2 und

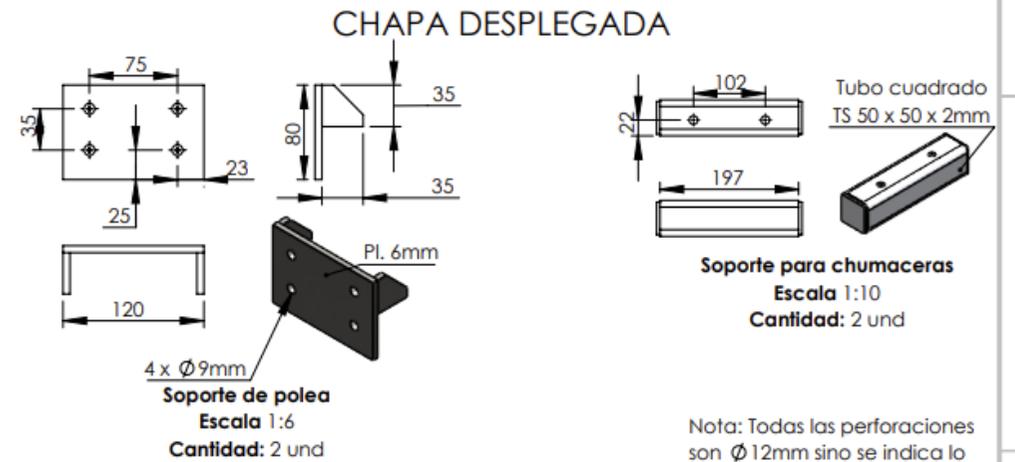
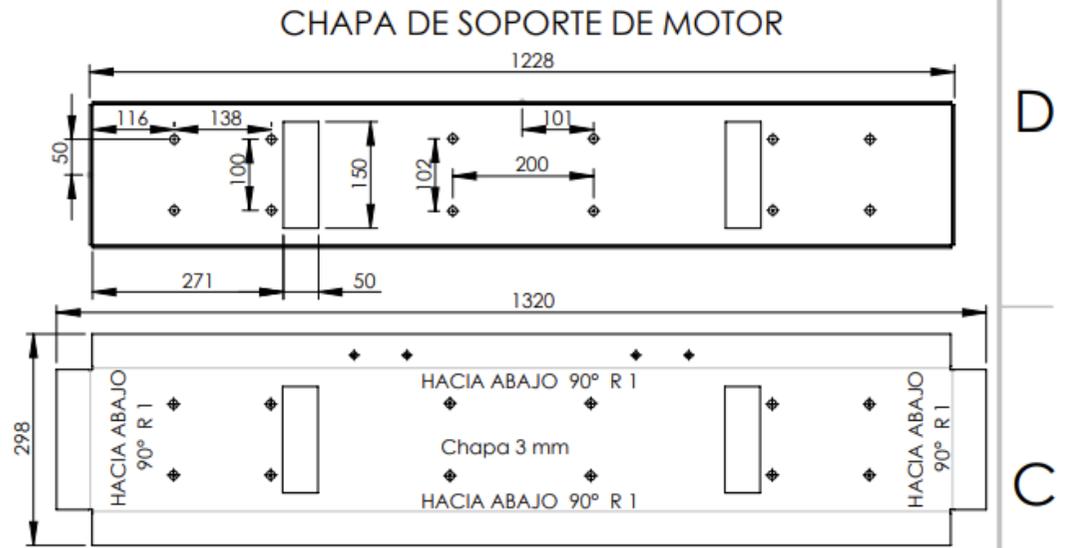
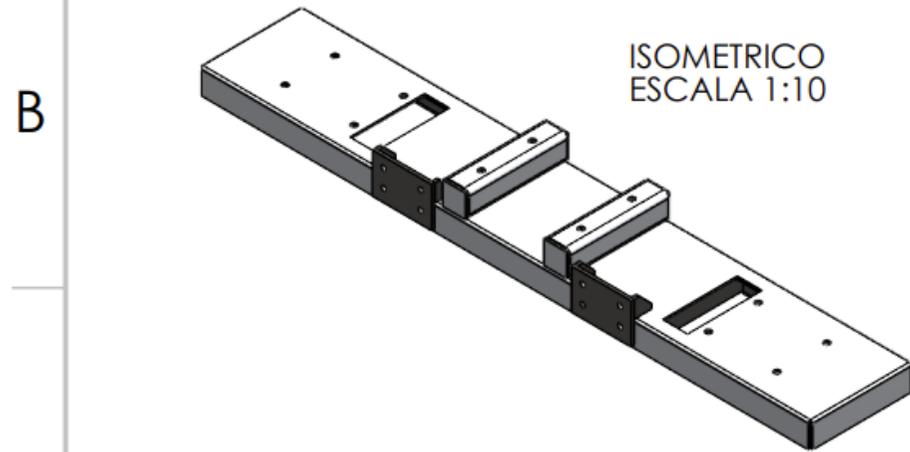
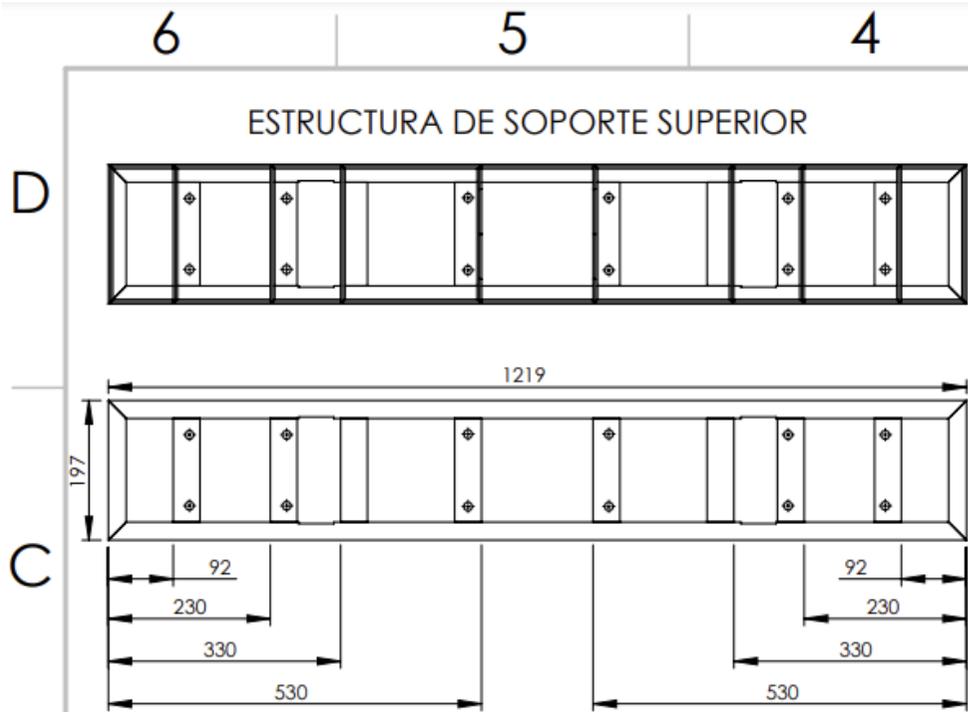


Placa para sello inferior
Escala 1:6
Cantidad: 1 und

ISOMETRICO COMPUERTAS
ESCALA 1:20

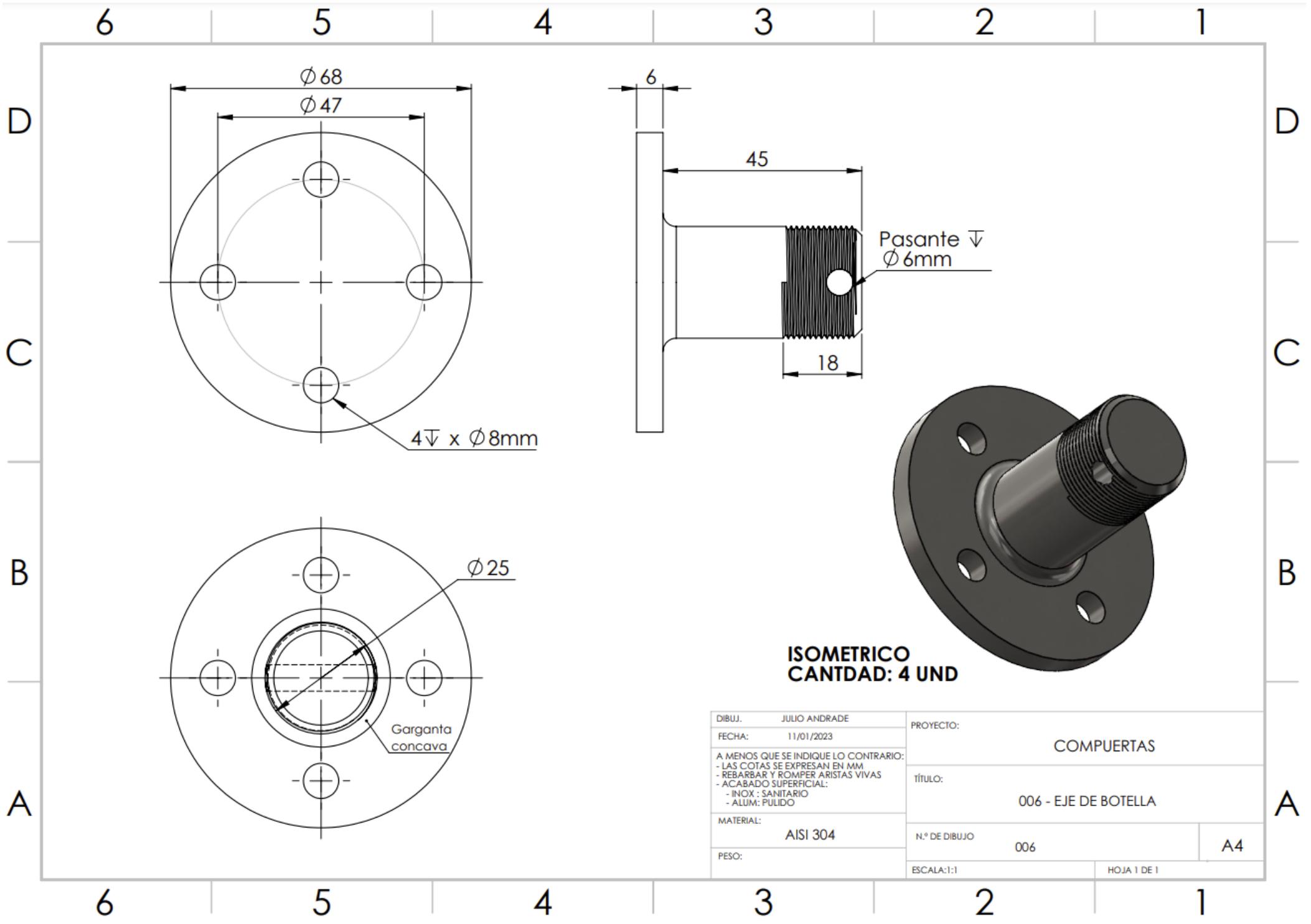


DIBUJ.	JULIO ANDRADE	PROYECTO:	COMPUERTAS	
FECHA:	11/01/2023	TÍTULO:	003 - COMPUERTA SUPERIOR	
A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS - ACABADO SUPERFICIAL: - INOX : SANITARIO - ALUM: PULIDO		N.º DE DIBUJO	003	A4
MATERIAL:	ASTM A36	ESCALA:1:15	HOJA 1 DE 1	
PESO:				



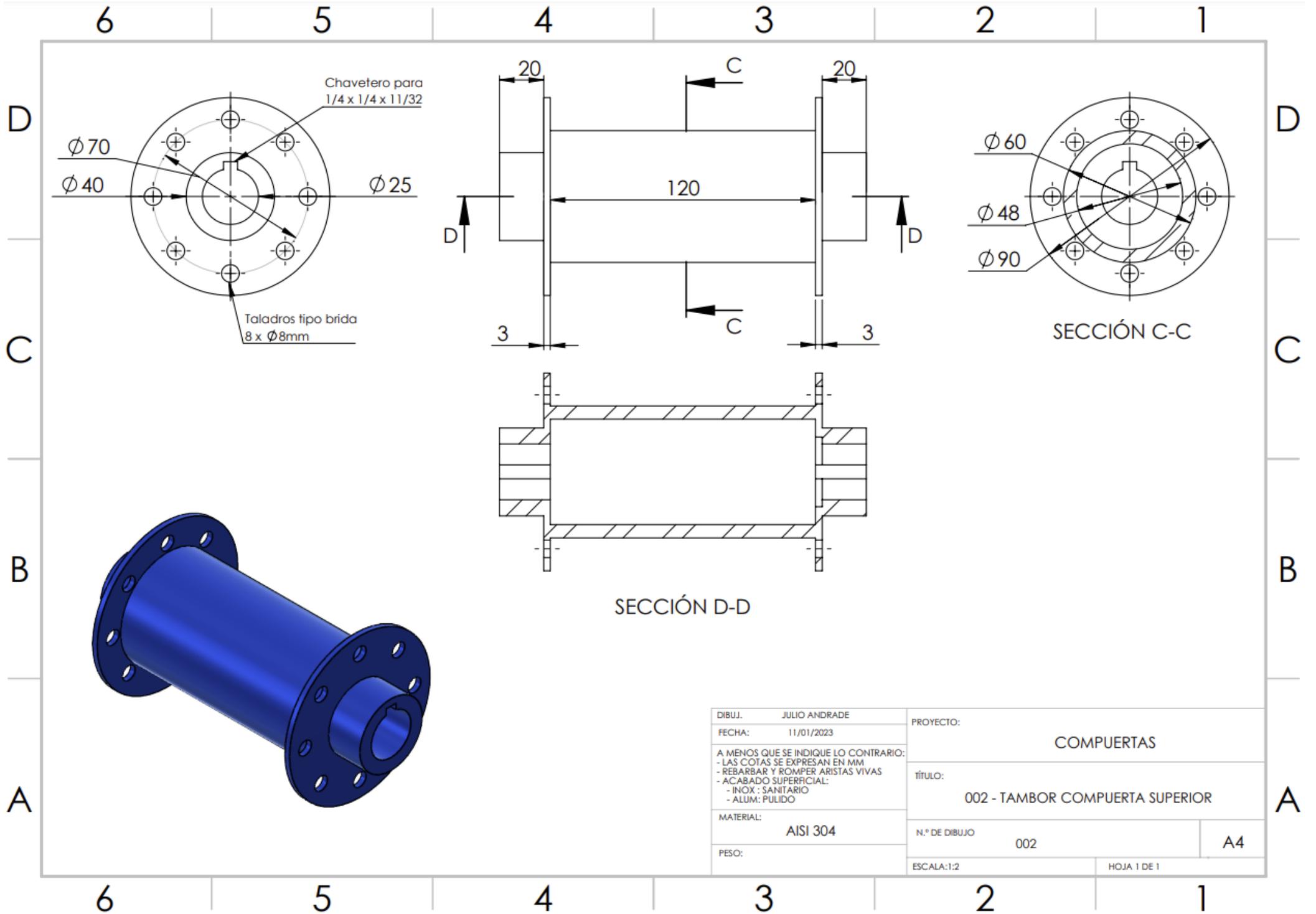
Nota: Todas las perforaciones son $\varnothing 12\text{mm}$ sino se indica lo contrario

DIBUJ.	JULIO ANDRADE	PROYECTO:	COMPUERTAS	
FECHA:	11/01/2023	TÍTULO:	005 - SOPORTE SUPERIOR	
A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. - REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS - ACABADO SUPERFICIAL: - INOX : SANITARIO - ALUM: PULIDO		N.º DE DIBUJO	005	A4
MATERIAL:	ASTM A36	ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1	
PESO:				



**ISOMETRICO
CANTDAD: 4 UND**

DIBUJ.	JULIO ANDRADE	PROYECTO:	COMPUERTAS	
FECHA:	11/01/2023	TÍTULO:	006 - EJE DE BOTELLA	
A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS - ACABADO SUPERFICIAL: - INOX : SANITARIO - ALUM: PULIDO		N.º DE DIBUJO	006	A4
MATERIAL:	AISI 304	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1	
PESO:				



DIBUJ.	JULIO ANDRADE	PROYECTO:	COMPUERTAS	
FECHA:	11/01/2023	TÍTULO:	002 - TAMBOR COMPUERTA SUPERIOR	
A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS - ACABADO SUPERFICIAL: - INOX : SANITARIO - ALUM: PULIDO		N.º DE DIBUJO	002	A4
MATERIAL:	AISI 304	ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1	
PESO:				

